



Ana Catarina Carvalho Batista **Edifício auto-sustentável a nível energético e de águas**



Ana Catarina Carvalho Batista Edifício auto-sustentável a nível energético e de águas

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Mestrado de 2º Ciclo em Engenharia do Ambiente, realizada sob a orientação científica do Dr. António José Barbosa Samagaio, Professor Associado do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro e co-orientação do Dr. José de Jesus Figueiredo da Silva, Professor Auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro.

Dedico este trabalho à minha mãe que apesar de muitas vezes não estar presente sempre me acompanhou, soube apoiar nas ocasiões mais críticas e acreditou na minha perseverança.

O júri

Presidente

Prof.^a Ana Isabel Couto Neto da Silva Miranda
Professora Associada do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro (Directora de Curso)

Prof.^o António José Barbosa Samagaio
Professor Associado do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro (Orientador)

Prof.^o José de Jesus Figueiredo da Silva
Professor Auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro (Co-orientador)

Prof.^a Maria Fernanda da Silva Rodrigues
Professora Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

Agradecimentos

Agradeço ao professor Dr. António Samagaio do Departamento de Ambiente e Ordenamento, por ter aceite orientar esta dissertação de mestrado, pela disponibilidade ao longo destes meses e por toda a documentação que me disponibilizou.

Agradeço ao professor Dr. José Figueiredo da Silva do Departamento de Ambiente e Ordenamento por ter aceite a co-orientação desta dissertação, pela disponibilidade, boa disposição e ajuda prestada.

Agradeço ao arquitecto Nuno Rocha por me ter cedido o anteprojecto da moradia utilizado na concretização desta dissertação, pelo apoio técnico na interpretação e compreensão dos conceitos de Arquitectura Bioclimática e pela disponibilidade demonstrada.

.

Palavras-chave

Construção, sustentabilidade, bioclimática, reutilização da água da chuva

Resumo

O objectivo principal duma habitação é manter, apesar das condições exteriores, um ambiente interior confortável e apropriado às actividades. A energia consumida para manter uma temperatura interior desejável é produzida principalmente pela combustão de combustíveis fósseis. Assim, a redução da energia utilizada diminui a carga de poluentes no ambiente e guiar-nos-á num aumento adicional da eficiência energética com a diminuição da energia gasta na climatização.

Por outro lado, é imperativo a utilização racional dum outro recurso que também é escasso, imprescindível à sobrevivência e apenas parcialmente renovável a curto prazo – o recurso água.

O presente trabalho propõe a concepção de uma habitação unifamiliar, com base em arquitectura bioclimática e boas normas de construção, dotada de sistemas de aproveitamento de energias renováveis e com aproveitamento de água da chuva.

Utilizou-se o Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios (RCCTE) como ferramenta para avaliar e otimizar as necessidades energéticas do caso de estudo, para aquecimento, arrefecimento e produção de água quente sanitária.

Foram caracterizados os usos médios da água, avaliados os consumos e necessidades, analisada a precipitação da região geográfica do caso de estudo e dimensionado o sistema de captação de água da chuva para usos interiores. Também se apresentam sugestões para a redução dos consumos interiores de água.

Keywords

Construction; sustainability; bioclimatic; rainwater reuse

Abstract

The main purpose of a building is to provide, under various outdoor conditions, a desired controlled indoor environment, suitable for their activities. The energy consumed to maintain the desired indoor environment is produced mainly by combustion of fossil fuels. Hence, the reduction of the amount energy used lowers the pollution load on the environment and would lead to a further increase of the energy efficiency by decreasing energy spent for acclimatization.

On the other hand, it is imperative that one should rationally use another, crucial, already dwindling, only short-term partially renewable resource, which is Water

The present work considers the conception of a single-family dwelling on the basis of bioclimatic architecture and good construction practice empowered with renewable energy exploitation systems and rainwater catchment.

The Regulation for Characteristics of Thermal Behavior in Buildings (RCCTE, in Portuguese) was used as a tool to evaluate and optimize energy requirements pertaining to heating, cooling and sanitary hot water production in this case.

Average water use was then characterized consumptions and needs evaluated, rainfall in target region analyzed and an indoor uses' rainfall catchment was sized. Suggestions for reducing such uses are also presented.

“Em nome de nada se pode permitir que se polua” Eng.º Poças Martins

Índice

1. Objectivos da Tese	2
1.1. Estrutura da tese	2
2. Introdução	3
3. Eficiência energética em edifícios.....	4
3.1. Enquadramento	4
3.2. Eco-Arquitectura/Arquitectura Bioclimática	6
3.2.1. Geometria solar	6
3.2.2. Condução	8
3.2.3. Ventilação	8
3.2.4. Em suma	9
3.3. Consumo energético dos edifícios e o RCCTE	12
3.3.1. Enquadramento	12
3.3.2. Algumas medidas de incentivo à utilização de técnicas passivas para redução do consumo energético no sector imobiliário	12
3.4. Energia solar – técnicas activas de redução de consumos energéticos.....	15
3.5. Caracterização do caso de estudo	19
3.5.1. Descrição e localização	19
3.5.2. Verificação dos requisitos mínimos regulamentares do RCCTE	22
4. Eficiência dos usos da água.....	45
4.1. Enquadramento	45
4.2. Características do sistema de recolha e armazenamento de águas pluviais.....	47
4.2.1. Superfícies de recolha.....	49
4.2.2. Caleiras	50
4.2.3. Equipamento para remover detritos.....	51

4.2.4.	Descarregadores de primeira chuva.....	52
4.2.5.	Tanque de armazenamento	53
4.2.6.	Tanques pressurizados e bombas.....	56
4.2.7.	Qualidade e tratamento da água.....	57
4.3.	Caso de estudo – métodos utilizados	61
4.3.1.	Caracterização dos usos médios da água.....	61
4.3.2.	Identificação dos requisitos de qualidade para cada função da água	63
4.3.3.	Precipitação útil média anual, runoff.....	63
4.3.4.	Área da superfície de captação e volume captado	65
4.3.5.	Dimensionamento do reservatório.....	66
4.3.6.	Análise económica.....	71
5.	Conclusões	74
6.	Bibliografia	78
	Anexo I – Prémios DGE 2003	84
	Anexo II – Cálculo de U.....	95
	Anexo III – Folhas de cálculo.....	104

Índice de Ilustrações

Ilustração 1. Percursos do Sol ao longo do ano [8].	7
Ilustração 2. Radiação solar ao longo do ano (por orientação) [8].	7
Ilustração 3. Exemplo duma habitação assente nos conceitos de Arquitectura Bioclimática [7, adaptado].	9
Ilustração 4. Efeito dos sistemas de sombreamento numa fachada orientada a Sul, no Verão ⁽¹⁾ e no Inverno ⁽²⁾ [7, adaptado].	10
Ilustração 5. Carta Bioclimática de Baruch Jivoni para a zona em estudo (I ₂ V ₂) [8].	10
Ilustração 6. Localização dos concelhos com clima I ₂ V ₂ [8].	11
Ilustração 7. Comparação entre recursos endógenos aplicáveis no sector da construção. [21]	15
Ilustração 8. Comportamento de energia do Sol quando chega à Terra. [22]	16
Ilustração 9. Tipos de colectores térmicos e temperaturas atingidas. [22]	16
Ilustração 10. Constituintes dum colector solar plano. [23]	17
Ilustração 11. Célula fotovoltaica com sistema tracking e espelhos reflectores. [25]	18
Ilustração 12. Planta de implementação do Anteprojecto “Barbines” – caso de estudo.	19
Ilustração 13. Planta do Piso 0 do Anteprojecto em Barbines.	20
Ilustração 14. Planta do Piso 1 do Anteprojecto em Barbines	20
Ilustração 15. Alçado Sul	21
Ilustração 16. Alçado Norte.	21
Ilustração 17. Alçado Poente.	22
Ilustração 18. Alçado Nascente	22
Ilustração 19. Cisterna Basílica: um tanque de água para a cidade. [38]	47
Ilustração 20. Esquema dum sistema genérico de recolha, armazenamento e uso de água da chuva numa habitação. [43]	49
Ilustração 21. Descarregador com sistema de filtragem (esquerda), descarregador da água da primeira chuva através duma válvula (direita). [45]	53

Ilustração 22. Algumas das contaminações que se devem considerar na recolha de água da chuva. [51].....	60
---	----

Índice de Tabelas

Tabela 1. Critérios de Classificação para gestão de resíduos gerados em obra [3, adaptado].	5
Tabela 2. Tipo de contaminação derivada do material constituinte do telhado. [41 e 45]..	50
Tabela 3. Comparação entre a localização do filtro/separador de folhas. [41 e 47].....	52
Tabela 4. Comparação entre a localização do reservatório. [41 e 47].....	54
Tabela 5. Comparação entre reservatórios de diferentes materiais. [41 e 47].....	55
Tabela 6. Comparação entre várias formas de reservatórios. [41 e 47].....	56
Tabela 7. Comparação entre os tratamentos de desinfecção da água. [41 e 47]	59
Tabela 9. Exemplo de cálculo para o volume acumulado e o volume de água fornecida nos primeiros 20 dias do ano hidrológico de 1994, para um reservatório de 25 m ³	67
Tabela 10. Relação entre os volumes de reservatório e os dias de consumo para o ano hidrológico de menor precipitação, 1994	68
Tabela 11. Relação entre os volumes de reservatório e os dias de consumo para o ano hidrológico de precipitação média, 1993.	69
Tabela 12. Relação entre os volumes de reservatório e os dias de consumo para o ano hidrológico de maior precipitação média, 2000.	70
Tabela 13. Relação entre os volumes disponíveis para baterias de reservatórios de polietileno de alta densidade e os preços associados.	72
Tabela 14. Relação entre os volumes e preços de reservatórios de polietileno de alta densidade para enterrar.....	72
Tabela 15 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica, U (W/m ² .°C) para as paredes duplas em contacto com o exterior.....	96
Tabela 16. Cálculo do coeficiente de transmissão térmica, U (W/m ² .°C) para as paredes duplas em contacto com o exterior e enterradas.....	96
Tabela 17. Cálculo do coeficiente de transmissão térmica, U (W/m ² .°C) para as paredes duplas em contacto com o exterior, nas zonas de pilar.	97

Tabela 18. Cálculo do coeficiente de transmissão térmica, U ($\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) para as paredes duplas em contacto com o exterior, enterradas, nas zonas de pilar.....	97
Tabela 19. Cálculo do coeficiente de transmissão térmica, U ($\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) para a zona de viga na parede exterior, pavimento intermédio.....	97
Tabela 20. Cálculo do coeficiente de transmissão térmica, U ($\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) para a zona de viga na parede exterior, na cobertura.	97
Tabela 21. Cálculo do coeficiente de transmissão térmica, U ($\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) para zona de envidraçado em contacto com painel de sombreado na cobertura – Pormenor 3a.	98
Tabela 22. Cálculo do coeficiente de transmissão térmica, U ($\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) para zona de envidraçado em contacto com painel de sombreado na cobertura – Pormenor 3b.	98
Tabela 23. Cálculo do coeficiente de transmissão térmica, U ($\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) para zona de envidraçado em contacto com painel de sombreado no piso intermédio – Pormenor 4a.	98
Tabela 24. Cálculo do coeficiente de transmissão térmica, U ($\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) para zona de envidraçado em contacto com painel de sombreado no piso intermédio – Pormenor 4b.	98
Tabela 25. Cálculo do coeficiente de transmissão térmica, U ($\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) para a laje do pavimento térreo, Laje 1a.....	99
Tabela 26. Cálculo do coeficiente de transmissão térmica, U ($\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) para a laje do pavimento térreo, Laje 1b.....	99
Tabela 27. Cálculo do coeficiente de transmissão térmica, U ($\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) para a laje do pavimento intermédio, Laje 2.....	99
Tabela 28. Cálculo do coeficiente de transmissão térmica, U ($\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) da cobertura, Laje 3.	99
Tabela 29. Cálculo do coeficiente de transmissão térmica, U ($\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) na cobertura, Pormenor 1a.	100
Tabela 30. Cálculo do coeficiente de transmissão térmica, U ($\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) na cobertura, Pormenor 1b.	100
Tabela 31. Cálculo do coeficiente de transmissão térmica, U ($\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) na cobertura, Pormenor 2a.	100

Tabela 32. Cálculo do coeficiente de transmissão térmica, U ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) na cobertura, Pormenor 2b.	100
Tabela 33. Cálculo do coeficiente de transmissão térmica, U ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) na cobertura, Pormenor 3.	101
Tabela 34. Cálculo do coeficiente de transmissão térmica, U ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) para a parede simples interior em contacto com a zona não aquecida.	101
Tabela 35. Cálculo do coeficiente de transmissão térmica, U ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) para a parede dupla interior em contacto com a zona não aquecida.	101
Tabela 36. Cálculo do coeficiente de transmissão térmica, U ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) para as paredes duplas em contacto com o espaço não aquecido.	102
Tabela 37. Cálculo do coeficiente de transmissão térmica, U ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) para a laje do pavimento térreo sobre espaço interior não aquecido.	102
Tabela 38. Cálculo do coeficiente de transmissão térmica corrigido, U ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) para a laje do pavimento térreo, Laje 1b.	102
Tabela 39. Cálculo do coeficiente de transmissão térmica corrigido, U ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) na cobertura, Pormenor 1 ^a	103
Tabela 40. Cálculo do coeficiente de transmissão térmica corrigido, U ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) para a parede simples interior em contacto com a zona não aquecida.	103

Índice de Quadros

Quadro 1. Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos admissíveis de elementos opacos (Quadro IX.1 do RCCTE).	23
Quadro 2. Factores solares máximos admissíveis de vãos envidraçados com mais de 5% da área útil do espaço que servem (Quadro IX.2 do RCCTE).	27
Quadro 3. Factor solar de alguns tipos de vidro (g_{Lv}) (Quadro IV.4.1 do RCCTE).	27
Quadro 4. Valores do factor solar de vãos com protecção solar activada a 100% e vidro corrente (g_L) (Quadro V.4 do RCCTE).	29
Quadro 5. Classe de inércia térmica interior (Quadro VII.6 do RCCTE).	31
Quadro 6. Valores do coeficiente τ (Quadro IV.1 do RCCTE).	32
Quadro 7. Classes de exposição ao vento das fachadas do edifício ou da fracção autónoma (Quadro IV.2 do RCCTE).	33

Quadro 8. Factor de Orientação X (Quadro IV.4 do RCCTE).	34
Quadro 9. Valores do factor de sombreamento do horizonte (F_h) – Situação de Inverno (Quadro IV.5 do RCCTE).	34
Quadro 10. Valores do factor de sombreamento por elementos horizontais (F_o) - Situação de Inverno (Quadro IV.6 do RCCTE).	35
Quadro 11. Valores do factor de sombreamento por elementos verticais (F_f) - Situação de Inverno (Quadro IV.7 do RCCTE).	36
Quadro 12. Fracção envidraçada para diferentes tipos de caixilharia (Quadro IV.5 do RCCTE).	39
Quadro 13. Valores médios da temperatura do ar exterior e da intensidade da radiação solar para a estação convencional de arrefecimento (Junho a Setembro) (Quadro III.9 do RCCTE).	40
Quadro 14. Cor da superfície exterior da protecção solar (Quadro V.5 do RCCTE).	40
Quadro 15. Valores do factor de sombreamento dos elementos horizontais (F_o) – Situação de Verão (Tabela V.1 do RCCTE).	41
Quadro 16. Valores do factor de sombreamento dos elementos verticais (F_f) – Situação de Verão (Quadro V.2 do RCCTE).	42

Índice de Gráficos

Gráfico 1. Percentagem dos usos diários de águas interiores. [54]	62
Gráfico 2. Percentagem dos usos diários de águas interiores e exteriores. [54].	62
Gráfico 3. Percentagem de usos médios diários na casa de banho. [53]	63
Gráfico 4. Precipitação média diária por ano hidrológico.	64
Gráfico 5. Valores de runoff médio diário por ano hidrológico.	65
Gráfico 6. Volumes de água precipitada no ano hidrológico de menor precipitação, 1994, usados para abastecimento no caso de estudo, de acordo com os vários volumes de reservatórios considerados.	68
Gráfico 7. Volumes de água precipitada no ano hidrológico de precipitação média, 1993, usados para abastecimento no caso de estudo, de acordo com os vários volumes de reservatórios considerados.	69

Gráfico 8. Volumes de água precipitada no ano hidrológico de precipitação média, 1993, usados para abastecimento no caso de estudo, de acordo com os vários volumes de reservatórios considerados. 70

Gráfico 9. Relação entre volumes e preços de reservatórios em Aço Inoxidável. 71

Lista de símbolos

A_{env} – Área de Envidraçado

A_i - Área do elemento que separa o espaço útil interior do espaço não útil (m^2)

A_p - Área útil do pavimento (m^2)

A_u - Área do elemento que separa o espaço não útil do ambiente exterior (m^2)

B - Comprimento de pontes térmicas lineares (m)

E_{solar} – Contribuição de sistemas de colectores solares para aquecimento de AQS

E_{ren} - Contribuição de outras formas de energias renováveis para aquecimento de AQS e outras formas de recuperação de calor de equipamentos ou de fuidos residuais

F_0 - Factor de sombreamento por elementos horizontais

F_f - Factor de sombreamento por elementos verticais

F_g - Fracção envidraçada

F_h - Factor de sombreamento do horizonte

F_s - Factor de obstrução

F_w - Factor de correcção da selectividade angular

F_{pui} – Factor de conversão entre energia útil e energia eléctrica na estação de aquecimento

F_{puv} – Factor de conversão entre energia útil e energia eléctrica na estação de arrefecimento

GD – Graus-Dia do local ($^{\circ}C.dia$)

g_{\perp} – Factor solar do vão envidraçado

$g_{\perp V}$ - Factor solar do envidraçado

$g_{\perp Ver}$ - Factor solar do envidraçado no Verão

I_t - Massa superficial útil por metro quadrado de área de pavimento ($kg\ m^{-2}$)

M_{si} - Massa superficial útil do elemento i ($kg\ m^{-2}$)

N_a – Necessidade máxima de energia para a preparação de AQS

N_{ac} – Necessidades energia para preparação de águas quentes sanitárias ($KWh/m^2.ano$)

N_i – Necessidades nominais de aquecimento máximas ($kWh/m^2.ano$)

N_{ic} – Necessidades nominais de aquecimento ($kWh/m^2.ano$)

N_t – Limite máximo admissível de energia primária ($kg_{ep}/m^2.ano$)

N_{tc} – Necessidades nominais globais de energia primária para preparação de AQS (KWh/m².ano)

N_{vc} – Necessidades nominais de arrefecimento (kWh/m².ano)

Q_a – Energia útil dispendida com sistemas convencionais de preparação de AQS (kWh/ano)

R – Resistência térmica (m²°C/W)

r - factor de revestimento

U - Coeficiente de transmissão térmica superficial (W/m²°C)

X – Factor de Orientação

α – coeficiente de absorção

β - Ângulo de sombreamento dos elementos verticais (°)

γ - Ângulo de sombreamento dos elementos horizontais (°)

θ_{atm} - Temperatura média do ar exterior na estação de arrefecimento (°C)

η_a – Eficiência de conversão dos sistemas de preparação de AQS

ψ - Coeficiente de transmissão térmica linear (W/m°C)

τ - Temperatura adimensional de espaços não úteis

Lista de siglas

AQS - Águas Quentes Sanitárias

CIP - Competitiveness and Innovation framework Programme

DGE – Direcção Geral de Energia

EMAS - Sistema Comunitário de Ecogestão e Auditoria

EPBD - Directiva sobre o Desempenho Energético dos Edifícios

IEE - Intelligent Energy-Europe

RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios

GEE – Gases de Efeito de Estufa

RC&D – Resíduos de Construção e Demolição

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

XPS – poliestireno extrudido

1. Objectivos da Tese

A Tese de Dissertação foi proposta por mim com o intuito de aplicar conceitos ambientais à área da construção que apenas recentemente tem sido encarada numa perspectiva eco-eficiente e dar um contributo para a sensibilização e tomada de consciência da necessidade de aplicar a sustentabilidade a todas as actividades humanas. A componente ambiental deveria ter o mesmo peso que as componentes económica e social e nós em Portugal, como sociedade, ainda não estamos preparados para agir desse modo. Existe um longo percurso a percorrer para que a sociedade moderna recupere a sua relação umbilical com a natureza e a saiba compreender, respeitar e amar, utilizando os seus recursos do modo mais eficiente, sem os esgotar e convivendo com as outras espécies sem as extinguir. O Homem é o ser mais inteligente, mais capaz, inventivo apesar de conflituoso... enfim, o Homem consegue ser superior a qualquer outra espécie que conhecemos e deveria utilizar essas capacidades para equilibrar a balança, mitigando os efeitos negativos que tem causado à natureza, e preservar o que ainda existe no único planeta de que dispõe.

Os objectivos da Tese de Dissertação incluem a caracterização e aplicação dos conceitos de Eco Arquitectura ou Arquitectura Bioclimática, que constituem técnicas passivas de redução energética, o estudo térmico dum anteprojecto de arquitectura numa moradia unifamiliar localizada no distrito de Santarém, concelho de Rio Maior, com base no RCCTE, que constitui um instrumento de análise energética, e o dimensionamento da estrutura de armazenamento de águas pluviais com a análise do uso dessas águas de modo a diminuir ou mesmo suprimir a dependência de água canalizada.

1.1. Estrutura da tese

A presente tese de dissertação encontra-se dividida em quatro partes: “Introdução”; “Eficiência energética em edifícios”; “Eficiência dos usos da água”; “Conclusões”.

A primeira parte consiste numa breve introdução histórica. Na segunda parte, é feito o enquadramento sobre a eficiência energética nos edifícios, seguidamente são descritos os conceitos de Eco-Arquitectura ou Arquitectura Bioclimática pois estes integram as técnicas passivas de redução de consumo energético numa habitação constituindo parte do método utilizado para alcançar a eficiência energética. É apresentada a metodologia do estudo térmico aplicada ao caso de estudo e de seguida são analisados os resultados.

Na terceira parte é apresentado um enquadramento sobre a necessidade de eficiência nos usos da água, de seguida é caracterizado o sistema de recolha e armazenamento de águas pluviais e os procedimentos para o dimensionamento e escolha do volume de água a recolher para o caso de estudo.

A quarta e última parte consiste nas conclusões dos resultados obtidos.

2. Introdução

Durante milhões de anos o Homem viveu como os animais, deslocando-se na procura de alimento e sujeito a todos os perigos da natureza. Graças à capacidade de evolução, mutações genéticas e ao tipo de alimentação foi desenvolvendo capacidades físicas e cognitivas e aconteceu algo que desafia o poder da imaginação, aprendeu a vocalizar vários sons ganhando uma ferramenta que lhe permite, entre outras coisas, um acumular de conhecimento. Estas capacidades deram-lhe uma clara vantagem sobre os outros animais na medida em que desenvolve a comunicação entre si organizando-se para melhor se defender, na obtenção de abrigo, alimento e posteriormente, modificando o meio à sua volta para se fixar. Ao se fixar subjuga outras espécies animais e vegetais, apoiado pela crescente inteligência e consequentes capacidades que vai adquirindo – constrói abrigos para se proteger dos elementos e outros animais e cultiva a terra. O fogo é a primeira abordagem do Homem ao controlo térmico e busca de conforto, auxiliando-o em muitos outros aspectos.

Uma vez inventado o primeiro utensílio desencadeia-se um processo de melhoria nas suas formas e uso. O Homem cria objectos que auxiliam as suas actividades e aperfeiçoa-os para um melhor desempenho. Com o aumento do conhecimento e das necessidades novas formas e usos são desenvolvidos pela avidez e perspicácia em aperfeiçoar o que desenvolve. Pode-se afirmar que está na sua natureza a supremacia pelo que o rodeia pois na sua constante procura pela satisfação das necessidades, o Homem evolui induzindo alterações na biodiversidade e recursos energéticos a uma velocidade tal que estes não têm capacidade de se renovar dos danos causados.

Com a revolução industrial provocada pelo desenvolvimento da máquina a vapor deu-se a evolução tecnológica recheada de conquistas científicas provocando um progresso rápido, com uma dimensão e consequências que ainda hoje se tentam compreender e mitigar. Ao encarar a natureza com os seus complexos e frágeis ecossistemas como “inesgotáveis” fontes de energia, de matérias-primas e receptáculo dos resíduos produzidos nas cidades, indústrias e actividades agrícolas, esta sofre uma degradação sem precedentes. Criam-se enormes barreiras culturais, sociais, económicas e ambientais, entre povos de diferentes regiões e camadas de população de um mesmo país. Apercebendo-se da nova realidade criada, o Homem desenvolve um novo conceito de desenvolvimento na década de 80 do século passado - desenvolvimento sustentável.

Nos últimos 150 anos o clima tem-se tornado progressivamente mais instável e mais quente. Se nada for feito, estas alterações têm tendência para se acentuar continuando a afectar negativamente o clima, com efeitos a nível dos recursos hídricos, das zonas costeiras, da agricultura, da saúde humana, da energia, e da biodiversidade. A ocorrência destas alterações climáticas está directamente relacionada com o aumento das emissões dos Gases de Efeito de Estufa (GEE), em que o dióxido de carbono (CO_2) assume um papel preponderante. Os GEE incluem também metano (CH_4), óxidos de azoto (NO_x) e compostos fluorados. As emissões de CO_2 e de NO_x produzidas pelo Homem são maioritariamente atribuídas ao sector energético e dos transportes. Ao promover a sustentabilidade de forma a travar as alterações climáticas conseguem-se não apenas benefícios para o ambiente, mas também a nível económico e social.

Existe actualmente a preocupação de não comprometer as necessidades das gerações futuras e a tentativa de minimizar o impacto de cada actividade reduzindo a procura, utilização e destruição de recursos naturais. Mesmo assim os interesses socioeconómicos quase sempre se sobrepõem à sustentabilidade, por exemplo, na construção.

3. Eficiência energética em edifícios

3.1. Enquadramento

O sector da construção tem impacto directo sobre o meio ambiente, constitui uma grande parcela do sector económico e é uma das actividades mais antigas praticadas pelo Homem. Os edifícios e o ambiente construído utilizam metade dos materiais retirados da crosta terrestre e são a fonte de 450 MT de resíduos de construção e demolição (RC&D) por ano (mais de $\frac{1}{4}$ de todos os resíduos produzidos) ” [1] responsáveis pela contaminação do ar (que agrava o efeito de estufa), água, solos e biota. O volume de RC&D gerado é até duas vezes maior que o volume de resíduos sólidos urbanos (RSU) [2].

A construção civil é responsável por entre 15 a 50% do consumo dos recursos naturais extraídos e que, do total de madeira extraída, este sector consome cerca de dois terços [3]. Na construção sustentável um dos grandes objectivos é manter um elevado desempenho do edifício ao longo do seu tempo de vida, com o mínimo consumo de energia e materiais, procurando o menor impacto possível no meio ambiente [4].

É inegável que, apesar de uma parte dos inerte hoje já ser reutilizada, a quantidade de resíduos que vêm sendo produzidos pelo sector da construção civil tem contribuído para o rápido esgotamento das capacidades dos aterros existentes, para não falar dos sérios problemas ambientais, sociais e económicos que estes resíduos causam quando depositados clandestinamente. Um risco acrescido advém do facto dos materiais e equipamentos utilizados na construção terem muitas vezes altos teores de substâncias perigosas. A gestão dos RC&D também se tornou mais complexa devido às crescentes exigências técnicas e legais que têm estimulado o aparecimento de empresas especializadas na prestação de serviços relacionados com a recolha, transporte, reciclagem e tratamento de resíduos. [3]

Várias medidas podem ser tomadas, como a prevenção, reutilização, escolha de materiais para redução das necessidades energéticas e de emissões líquidas e gasosas durante o ciclo de vida dum edifício e a gestão de resíduos em obra.

Na implementação de uma logística de gestão de resíduos em obra, cada resíduo deve ser classificado segundo os critérios da Tabela 1. A gestão de resíduos gerados deve ser objecto de reflexão na fase de planeamento para poder ser eficazmente implementada na fase de construção.

Tabela 1. Critérios de Classificação para gestão de resíduos gerados em obra [3, adaptado].

Resíduo	Potencial de prevenção	Potencial de reutilização	Potencial de reciclagem	Fracção residual (para destino final)
Inertes	Elevado	Médio	Elevado	Quando contaminado ou misturado
Madeira	Reduzido	Elevado	Elevado	Madeira contaminada com substâncias tóxicas
Metais	Reduzido	Reduzido	Elevado	Quando contaminado ou misturado
Vidro	Reduzido	Reduzido	Elevado	Quando contaminado ou misturado
Papel/Cartão (embalagens)	Elevado	Médio	Médio	Embalagens contaminadas com substâncias tóxicas
Plástico (embalagem)	Elevado	Médio	Médio	Embalagens contaminadas com substâncias tóxicas

Contudo ainda é geral a falta de informação e de sensibilização para mitigação destes efeitos. Outras ferramentas deveriam ser comumente aplicadas ao sector da construção, como a Análise de Ciclo de Vida (ACV), para o rastreamento dos produtos, e a Pegada Ecológica, mais direccionada a questões de sensibilização ambiental.

A ACV é a compilação e avaliação das entradas, saídas e dos potenciais impactos ambientais de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida. Constitui uma ferramenta para quantificação das necessidades de recursos, emissões e resíduos originados para obtenção dum produto. [5, adaptado] Existem bases de dados com ACV de produtos como o vidro, aço, alumínio, papel e plástico, contudo muitos dos produtos utilizados na construção, por exemplo, carecem deste tipo de informação.

O conceito de Pegada Ecológica, criado por William Rees e Mathis Wackernagel, permite calcular a área de terreno produtivo necessária para sustentar o nosso estilo de vida. Devido à mensagem simples e facilmente perceptível que a pegada transmite, esta tem um potencial muito elevado ao nível da sensibilização e educação ambiental.

A própria ACV dos edifícios carece ainda de informação vital à sua concretização devido à complexidade de informações que requer acerca dos materiais utilizados, desde a actividade extractiva do produto, passando pela sua transformação e elementos envolvidos, até ao destino final e seu desaparecimento. Também a Pegada Ecológica apresenta muitas limitações por haver ainda vários impactos que não estão contabilizados, sendo o valor obtido uma estimativa por defeito. Esta informação deve ser complementada com outros dados específicos e indicadores mais reproduzíveis. A ACV e Pegada Ecológica são mensuráveis em unidades de emissões de CO₂.

Uma outra vertente aplicável no sector da construção, com exigências técnicas e de recursos muito menores, que assenta na projecção direccionada para estratégias passivas de eficiência energética e, consequentemente, ambiental é a Eco-Arquitectura ou Arquitectura Bioclimática. Este conceito baseia-se nos princípios da construção sustentável, em que serão adoptadas decisões relacionadas com a localização, a orientação solar (ver Ilustrações 1 e 2), o isolamento de fachadas, coberturas, pavimentos e envidraçados (que

permite reduzir as necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento), maximização do aproveitamento de luz natural e a escolha de materiais e produtos na redução de quantidades e grau de perigosidade dos RC&D. A eco-arquitectura não se foca apenas em soluções tecnológicas, mas também tenta reconciliar o homem com a natureza [6], exibindo uma concepção orgânica relativamente à envolvente da construção, em que o edifício emerge como parte integrante da paisagem sem a “ferir” e seguindo os conceitos bioclimáticos na projecção.

3.2. Eco-Arquitectura/Arquitectura Bioclimática

Eco-Arquitectura e Arquitectura Bioclimática, ambos os conceitos descrevem os mesmos princípios. Como o próprio nome indica, Arquitectura Bioclimática aborda o clima como uma variável da projecção estrutural em que é favorecida a interacção do sol, da água e do vento com o edifício de modo a propiciar condições de conforto térmico adequadas aos utilizadores. Em Portugal usufruímos dum clima bastante favorável à adopção destes princípios assentes em regras simples não sendo necessário recorrer a equipamentos de climatização contribuindo para a diminuição do impacto ambiental e das necessidades energéticas. Tal não envolve despesas acrescidas na construção, dado não ser necessário recorrer a dispositivos tecnológicos complexos [7]. A escolha dos materiais de construção é outro factor a considerar devido à sua importância no desempenho energético numa construção. A inércia térmica, própria dos materiais pesados, como dos tijolos maciços e da pedra, é importante em casas bioclimáticas. Com grande inércia térmica, mantêm-se mais tempo frescas durante o dia, enquanto armazenam calor, que libertam a noite. [7].

Mais uma vez a falta de legislação adequada aliada à falta de conhecimento, de qualificação e especialização dos intervenientes no processo de construção e licenciamento têm sido factores decisivos na não aplicação destes conceitos.

3.2.1. Geometria solar

A geometria solar é um dos tópicos da concepção bioclimática ou Eco-Arquitectura. Analisando o percurso do sol estuda-se a forma do edifício e das obstruções à incidência da radiação solar aproveitando os ganhos solares durante o Inverno e restringindo-os de Verão. Incluem-se no estudo da geometria solar os efeitos de palas e sombreamentos do próprio edifício, bem como os efeitos sombreadores devidos aos edifícios vizinhos, a árvores, vegetação e à forma urbana do espaço circundante (praças, ruas, avenidas, etc.). [7, adaptado]

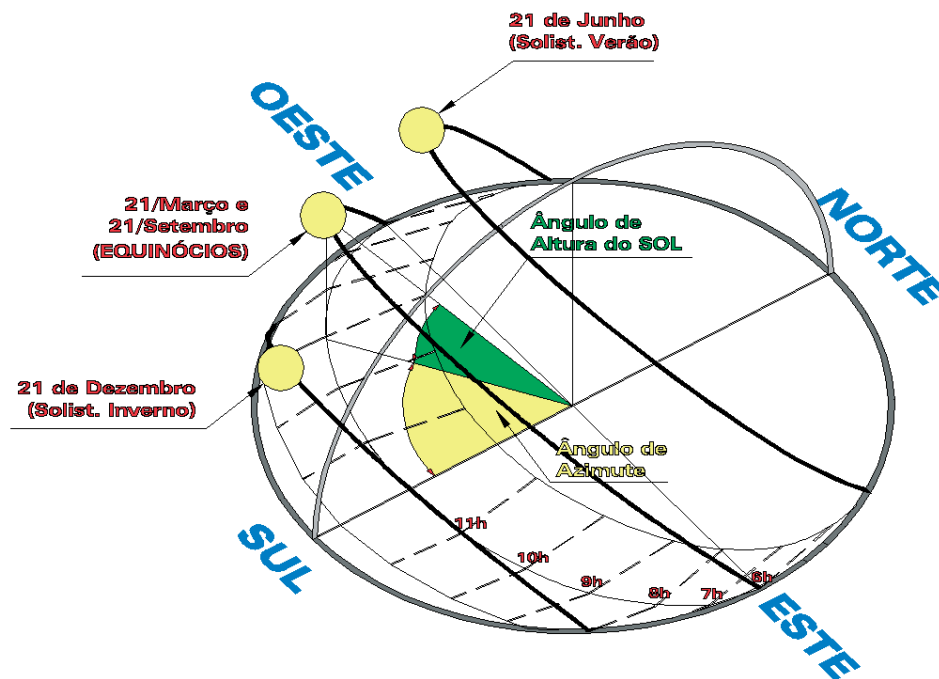


Ilustração 1. Percursos do Sol ao longo do ano [8].

Conhecendo o percurso do Sol ao longo do ano define-se a localização das fachadas envidraçadas, a sua dimensão e tipo de vidro. Para Portugal verifica-se que uma fachada envidraçada orientada a Sul receberá um maior nível de radiação solar do que fachadas noutras orientações, sendo que no Verão é uma fachada mais facilmente protegida dessa mesma radiação.

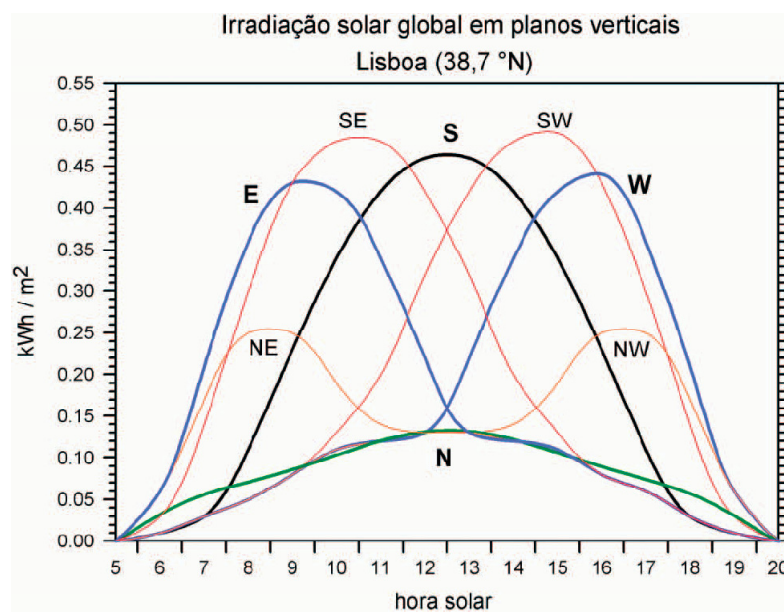


Ilustração 2. Radiação solar ao longo do ano (por orientação) [8].

Observando a Ilustração 2 verifica-se que a orientação Sul é a que proporciona mais ganhos de energia solar nos meses mais frios e que é indesejável a existência duma superfície envidraçada horizontal nos meses de maior calor.

As Ilustrações 1 e 2 convergem no sentido em que a fachada orientada a Sul deverá ser aquela que apresenta maior área de envidraçados pois é a que propicia maiores ganhos solares no Inverno enquanto nos restantes quadrantes é desejável restringir as dimensões das aberturas. No Verão, como o percurso do Sol apresenta um ângulo de incidência com a normal de valor mais elevado, interessa anular os ganhos solares directos através de dispositivos de sombreamento, como palas, que deverão existir também nos vãos a Nascente e Poente. O uso de vegetação nas vertentes a Este e Oeste restringe os ganhos solares directos e proporciona um agradável efeito visual.

3.2.2. Condução

Em termos de transferência de calor por condução, as variáveis climáticas que mais influenciam os edifícios são a temperatura do ar exterior e a radiação através da envolvente, quer sejam ganhos durante o Verão ou perdas no Inverno. Para reduzir estes efeitos ao longo do ano deve aumentar-se a resistência térmica das envolventes incorporando materiais isolantes nas paredes, coberturas e pavimentos e nas janelas escolher um conjunto “vidro/caixilho/persiana” com vidros duplos ou janela dupla, aumentando a resistência térmica.

Restringir a Condução é uma Estratégia Bioclimática que, num clima temperado como o de Portugal, se deve promover nos edifícios para conseguir obter conforto no seu interior, tanto de Inverno como de Verão. Enquanto no Inverno interessa restringir perdas de calor para o exterior através da envolvente, no Verão torna-se mais favorável restringir os ganhos excessivos de calor exterior de forma a manter uma temperatura mais constante no interior dos edifícios. [8].

3.2.3. Ventilação

As trocas de massas de ar entre o interior e o exterior dos edifícios estabelecem fluxos energéticos que constituem perdas térmicas no Inverno e ganhos térmicos no Verão. A renovação do ar interior é uma medida necessária à manutenção das condições de salubridade interior dos edifícios pelo que deve ser sempre assegurado um mínimo recomendável através de um sistema de ventilação, natural, mecânico ou híbrido, adequado. [8].

A ventilação pode ser natural através de infiltrações nas frinchas de portas e janelas, forçada por equipamento mecânico de forma controlada e regulada e pela acção do vento em regiões consideradas muito ventosas. A vegetação pode ser utilizada como protecção de ventos dominantes e oxigena o ar. Caso haja espaço disponível em frente aos vãos envidraçados da fachada a Sul, é possível criar espelhos de água cuja evaporação ajuda a

diminuir a temperatura do ar junto à envolvente durante o Verão, contribuindo para o arrefecimento através da ventilação natural.

3.2.4. Em suma

As estratégias a adoptar deverão ter em conta além dos factores referidos, a função do edifício e consequentemente o modo de ocupação e funcionamento deste, de modo a que a adaptação ao clima promova um bom desempenho. A própria forma do edifício influencia o seu desempenho térmico, quanto mais compacto, menores as perdas. A Ilustração 3 é um exemplo de aplicação dos conceitos bioclimáticos:



Ilustração 3. Exemplo duma habitação assente nos conceitos de Arquitectura Bioclimática [7, adaptado].

Uma construção compacta com uma enorme área de envidraçados na vertente Sul e respectivos sombreamentos (ver o efeito das palas na Ilustração 4), um espelho de água em frente aos envidraçados a Sul que evapora com o calor contribuindo para o arrefecimento através de ventilação natural durante o Verão. O efeito contrário é conseguido durante o Inverno, em que a água aquece durante o dia e quando a temperatura ambiente decresce com o aproximar da noite, há evaporação da água que estando mais quente contribui para o aquecimento através da ventilação natural. Vegetação na vertente Este protegendo dos ganhos solares no Verão e do vento no Inverno e poucas aberturas.

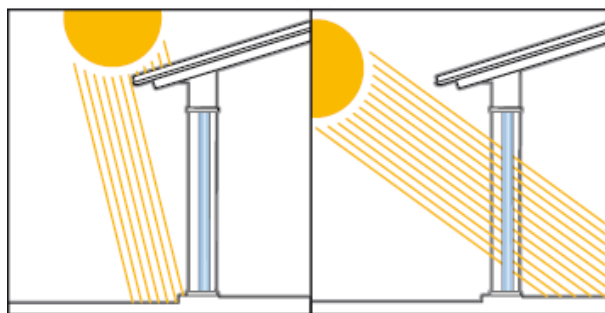


Ilustração 4. Efeito dos sistemas de sombreamento numa fachada orientada a Sul, no Verão (¹) e no Inverno (²) [7, adaptado].

Um modo de conhecer o tipo de estratégia a utilizar consoante o clima é através da Carta Bioclimática elaborada por Givoni em 2002.

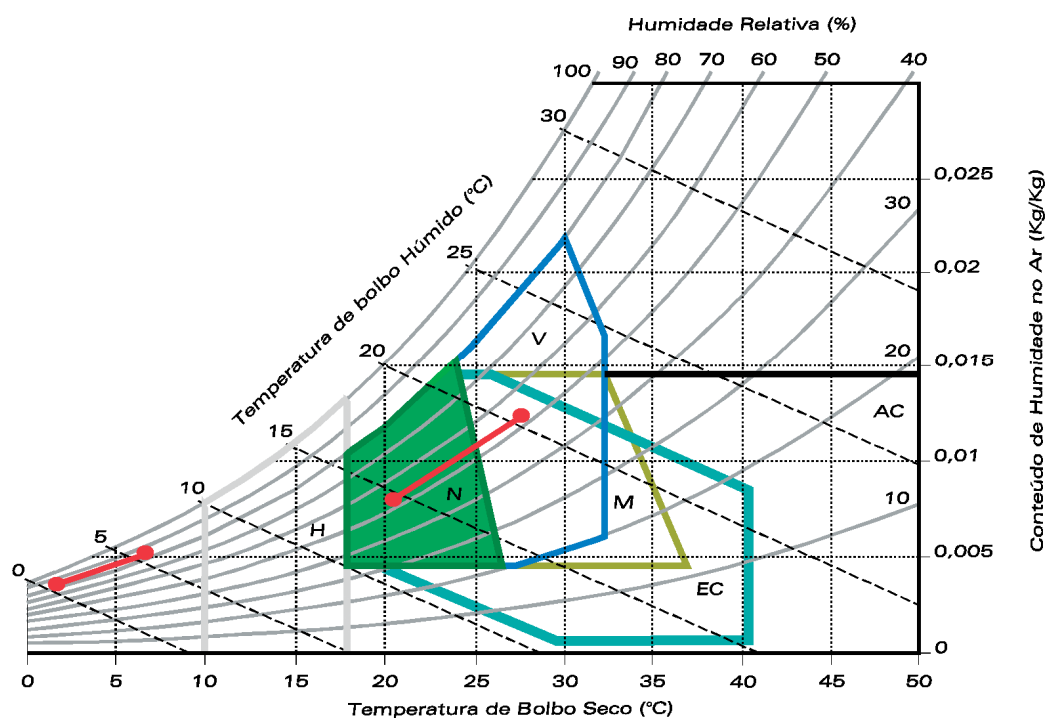


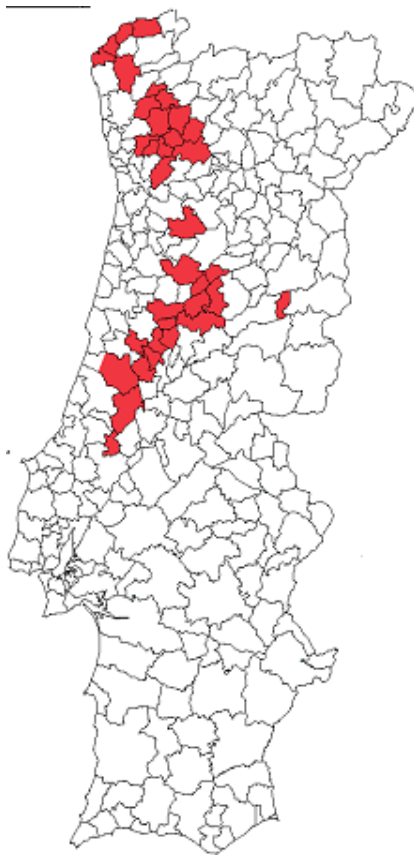
Ilustração 5. Carta Bioclimática de Baruch Jivoni para a zona em estudo (I₂V₂) [8].

Registando as temperaturas e níveis de humidade do ar e recorrendo à Carta Bioclimática de Baruch Jivoni consegue-se desenhar uma mancha que corresponde à zona de conforto para a área em estudo e definir a estratégia bioclimática a utilizar.

De acordo com a Carta Bioclimática (Ilustração 5), as estratégias a adoptar, por zona, são:

- Zonas H – Durante os meses mais frios, restringir as perdas por condução, por infiltração e o efeito da acção do vento no exterior do edifício. Promover os ganhos solares (climas de Inverno agressivo).
- Zonas V – Promover a ventilação natural (climas do tipo tropical).

- Zonas V, EC, AC, M e W – Restringir os ganhos solares (climas que necessitam de arrefecimento).
- Zonas EC e M – Promover o arrefecimento por evaporação (climas secos e de regiões desérticas áridas).
- Zonas M – Promover o arrefecimento por radiação (climas quentes com elevadas amplitudes térmicas).
- Zonas N – Controlar as trocas térmicas por ventilação e condução e evitar ganhos solares excessivos (clima neutro de conforto para o ser humano).
- Zonas AC – Utilização de meios mecânicos não passivos para atingir o conforto térmico.



Para o local em estudo, o zonamento climático foi identificado de acordo com o anexo III do DL 80/2006 (RCCTE), que divide o País em três zonas climáticas de Inverno (I_1 , I_2 e I_3) e três zonas climáticas de Verão (V_1 , V_2 e V_3). Consultando o Quadro III.1 do RCCTE, o anteprojecto em estudo situa-se na zona I_2V_2 .

Assim, interessa restringir a condução e promover os ganhos solares no Inverno com atenção ao quadrante Sul para que não haja excesso de ganhos solares. No Verão convém restringir a condução, ganhos solares pelos envidraçados que deverão ser sombreados e promover uma inércia forte.

Ilustração 6. Localização dos concelhos com clima I_2V_2 [8].

3.3. Consumo energético dos edifícios e o RCCTE

3.3.1. Enquadramento

Passamos cerca de 95% do nosso tempo em espaços fechados, quer seja no trabalho, centros comerciais ou em casa. É utilizada mais energia na manutenção do espaço construído que em qualquer outro lado. Utilizamos-a para aquecimento, arrefecimento, iluminação e para muitas outras actividades interiores, como cozinhar. “Os edifícios consomem mais energia que qualquer outro sector da economia Europeia. Está provado que estes constituem aproximadamente 40% do consumo energético [9].

Verificou-se na última década um crescimento anual médio de 2% no consumo de energia eléctrica no sector residencial da EU-25 [10], aumentando as emissões de CO₂ para a atmosfera. Este crescimento relaciona-se com a melhoria das condições de conforto básicas, a climatização e “...com a utilização cada vez mais generalizada de equipamentos de entretenimento...” [10]. A dependência associada a estes equipamentos “...implica que a procura de energia no sector residencial atinja os 25 por cento de consumo total de energia na União Europeia (EU) [11].

A dependência da União Europeia em relação às importações de energia atingirá 70% em 2030 (a comparar com os 50% actuais). Mais de 40% do consumo de energia corresponde ao sector do imobiliário, essencialmente para aquecimento de espaços e de água, refrigeração (climatização) e iluminação. Calcula-se existir, em condições economicamente rentáveis, um potencial de poupança superior a 22% desse consumo [12].

Para contrariar esta e outras tendências os países europeus aderiram ao Protocolo de Quioto comprometendo-se a reduzir as emissões combinadas de Gases de Efeito de Estufa (GEE) em pelo menos 5% em relação aos níveis de 1990 até o período entre 2008 a 2012 [12]. A EU constitui uma das signatárias do protocolo, comprometendo-se a reduzir, como um todo, em 8% as suas emissões de GEE, no período de 2008 a 2012, em relação aos níveis existentes no ano de referência (1990). Foram lançados alguns desafios pela EU no âmbito do cumprimento das metas do Protocolo de Quioto.

3.3.2. Algumas medidas de incentivo à utilização de técnicas passivas para redução do consumo energético no sector imobiliário

3.3.2.1. Directiva sobre o Desempenho Energético dos Edifícios (EPBD)

A Comissão Europeia propõe em 2001 a Directiva sobre o Desempenho Energético dos Edifícios (EPBD) (Directiva 2002/91/CE, de 16 de Dezembro de 2002) [14] que é adaptada a Portugal através do Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios (RCCTE - DL 80/2006) [13] impondo a certificação de eficiência energética aos edifícios a partir de 4 de Janeiro de 2006. Esta medida impõe uma construção de qualidade superior com paredes duplas com caixas-de-ar, por exemplo, cujos custos associados são compensados pela redução de consumo energético.

O certificado energético consiste numa etiqueta com informações sobre a performance energética de cada edifício, existindo sete classificações possíveis, de A (a que representa menos gastos energéticos) a G (a de pior nível energético). [15, adaptado] Ao ser emitido, virá acompanhado de sugestões de medidas para reduzir a factura energética. O projecto para construção de um novo edifício só será aprovado se pertencer a uma das duas categorias de melhor desempenho energético.

A certificação não se limitará aos novos edifícios, os edifícios já construídos também serão certificados, com avaliações de 6 em 6 anos, em que os casos de consumo mais excessivo em escritórios serão obrigados a propor um plano de redução de consumos.

O RCCTE, além de constituir uma ferramenta de certificação energética permitirá um ajuste de preços nos casos de arrendamento em construções com má classificação energética, ajustando as rendas aos valores reais de qualidade dos edifícios.

3.3.2.2. Intelligent Energy-Europe (IEE)

O programa Intelligent Energy-Europe foi inicialmente adoptado em 2003 por decisão do Parlamento Europeu e do Conselho para implementar estratégias baseadas na redução do consumo energético de novos e velhos edifícios na UE. Desde o início de 2005 as iniciativas do IEE têm contribuído para nova legislação nacional e regional e aumentado a consciencialização pública.

Cada projecto tem um objectivo comum: aumentar o conhecimento do mercado sobre as oportunidades de poupança energética em edifícios ao mesmo tempo que auxilia no modo de as atingir. As iniciativas incluem a promoção de tecnologias e materiais de construção inovadores, assim como campanhas em que são atribuídos prémios às concepções inovadoras. O exemplo dum projecto do programa IEE é o GreenBuilding Project que consiste na implementação de medidas ambiciosas de poupança energética em edifícios não-residenciais. “Todos os parceiros receberam assistência técnica, reconhecimento público (publicações, informação na Internet), acesso à base de dado das melhores práticas, aconselhamento no custo das opções a utilizar e o direito ao logótipo do GreenBuilding. O projecto envolve compromissos voluntários na redução do consumo energético em 25% nos edifícios...” [16] e numa segunda fase do programa foi criado o GreenBuildingPlus em que são atribuídos prémios monetários às melhores soluções técnicas. Este projecto beneficiou duma contribuição da UE que suprimiu 50% das despesas.

O feedback obtido na regulamentação e design tem ajudado arquitectos e engenheiros a construir edifícios energeticamente eficientes de acordo com as necessidades da sociedade actual [16] e o potencial de poupança obtido principalmente em opções amigas do ambiente foi estimado em aproximadamente 28%.

Inicialmente o programa seria apenas entre 2003 a 2006, mas o sucesso obtido estimulou “a Comissão a adoptar a proposta para a continuação do programa Intelligente Energy –

Europe durante o período 2007-2013, como parte do programa Competitiveness and Innovation framework Programme (CIP).” [17]

O projecto *Enerbuilding* – Eficiência Energética, promove a utilização racional de energia e a aplicação de fontes de energia renovável nos edifícios. É co-financiado pelo Programa Energia Inteligente – Europa da Comissão Europeia, tendo sido iniciado em Novembro de 2006 com uma duração de 3 anos. Este está a ser realizado em Itália, França, Espanha e Portugal sendo liderado pela *Adiconsum – Associazione Difesa Consumatori e Ambiente*. Este projecto apresenta como objectivos:

- Facultar aos consumidores, em geral, e às famílias, em particular, a informação e apoios necessários sobre as tecnologias e os sistemas que existem e podem ser utilizados nas suas casas;
- Prestar às autoridades locais conhecimentos e instrumentos para uma gestão energética eficiente dos edifícios públicos (escolas, piscinas, creches);
- Sensibilizar os jovens estudantes para as questões do ambiente e em especial da energia, exemplificando os comportamentos adequados, bem como as soluções tecnológicas com vista à poupança de energia e à protecção do ambiente. [65]

3.3.2.3. Prémios DGE 2003 – Eficiência Energética em Edifícios

O Programa Nacional para a Eficiência Energética nos Edifícios (P3E), promovido pela DGE, contempla a atribuição de um prémio aos projectistas de edifícios recentes (construídos desde o início de 2000) pelo mérito da sua arquitectura, pela boa integração da energia solar passiva, pela eficiência energética, com ou sem sistemas de climatização, e que garantam bom desempenho ambiental, conforto e qualidade do ar interior para os seus utilizadores [18]. Estes prémios têm como objectivo fundamental a evolução da qualidade dos edifícios em Portugal.

Apresenta-se no Anexo III um resumo das características dos edifícios residências aos quais foram atribuídos os prémios DGE 2003, adaptado de [19].

3.3.2.4. Plano de Acção de Eficiência Energética

No **plano de acção de eficiência energética**, adoptado em 2006, é promovida "...a cultura de “produção e consumo sustentável”, a qual visa fomentar o desenvolvimento social e económico, preservando simultaneamente o ambiente” [11] através de iniciativas específicas como a Directiva 2005/32/EC para o eco-design, a Directiva 92/75 EC para a etiquetagem de electrodomésticos, o Regulamento *Energy Star* com a Directiva 2422/2001/CE, a gestão e auditoria ambiental (EMAS) e o “*Green Public Procurement*”, um manual sobre compra agrupada no sector público.

Dadas as condições económicas, ambientais e sociais, a UE estabeleceu que Portugal poderia aumentar as suas emissões de GEE em 27%, durante o período mencionado, objectivo esse cujo cumprimento se afigura muito problemático. No seu todo a União Europeia-15 apresentava no ano 2000 um excesso de 2% relativamente à trajectória de

evolução linear das emissões de GEE no período 1990-2010 para o compromisso de Quioto, enquanto Portugal apresentava um excesso superior a 20%. [20]

3.4. Energia solar – técnicas activas de redução de consumos energéticos

As energias renováveis representam o futuro a nível energético. A sustentabilidade energética leva à necessidade na promoção da utilização de energias renováveis locais, cujas diferenças estão representadas na Ilustração 7:

Recursos endógenos		Custo de Investimento actual	Custo da matéria prima	Estado da tecnologia	Integração em edifícios	Comodidade no funcionamento do sistema
Eólica		1.10 €/We*	Gratuita	Madura	Difícil	Média
Geotermia		1.75 €/Wt*	Gratuita	Verde	Difícil	Boa
Biomassa sólida	Peletes	0.37 €/Wt**	0.035 €/kWh**	Madura	Fácil	Má
	Estilha	0.44 €/Wt**	0.020 €/kWh**	Madura	Fácil	Má
Solar	Térmico	0.58 €/Wt*	Gratuita	Madura	Fácil	Boa
	Fotovoltaico	2.30-3.75 €/We*	Gratuita	Média	Fácil	Boa

Ilustração 7. Comparação entre recursos endógenos aplicáveis no sector da construção. [21]

Da Ilustração 8 observa-se que os recursos endógenos que actualmente constituem a melhor opção para aplicação no sector da habitação são os recursos solares, mais a nível térmico que fotovoltaico, devido à boa comodidade no funcionamento do sistema, ao custo da matéria-prima – radiação solar, à capacidade de integração em edifícios e estado tecnológico.

A energia solar que chega à Terra numa hora é a mesma quantidade de energia que a humanidade consome num ano e o seu potencial energético é 10 000 vezes maior que o necessário actualmente, contudo nem todos os países tem as mesmas condições para utilizar essa energia.

Portugal é um dos países mais ricos da Europa em energia solar que é um recurso endógeno, gratuito, inesgotável e até hoje não tem usado esse recurso como fonte de energia explícita para as suas necessidades energéticas.

A Ilustração 8 exemplifica o comportamento da radiação solar emitida pelo Sol ao chegar à Terra. Apenas uma parte da radiação é absorvida pela superfície terrestre, a restante é reflectida. A energia que não é absorvida acaba por ser libertada de diversas formas.

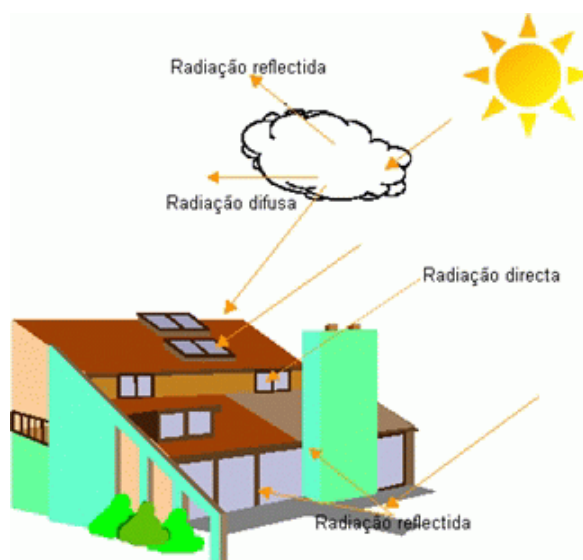


Ilustração 8. Comportamento de energia do Sol quando chega à Terra. [22]

A energia solar divide-se em dois tipos: luz e calor, logo pode ser utilizada para produzir energia térmica ou eléctrica. Os colectores solares são utilizados para produzir energia térmica, são sistemas instalados tipicamente em telhados para aquecimento de águas sanitárias, mas também podem ser utilizados para aquecer o ar que é utilizado na climatização. Para produzir electricidade a partir da radiação solar, podem ser usadas células fotovoltaicas, mas a energia solar abrange a capacidade hídrica, a energia do vento, energia das ondas e até os combustíveis fósseis provêm de energia solar - petróleo, gás natural e carvão resultantes do decaimento de plantas e animais que existiam graças à fotossíntese.

- **Solar térmico**

O colector solar é a tecnologia mais comum e acessível de aproveitamento da energia solar térmica. As tecnologias de conversão da energia solar em energia térmica têm desenvolvimentos distintos em função das gamas de temperatura necessárias. Para as aplicações que requerem baixas temperaturas (até 90°C), tipicamente para aquecimento de água, existe uma tecnologia bem desenvolvida e madura – planos, do tipo CPC de baixa concentração ou concentrados parabólicos.

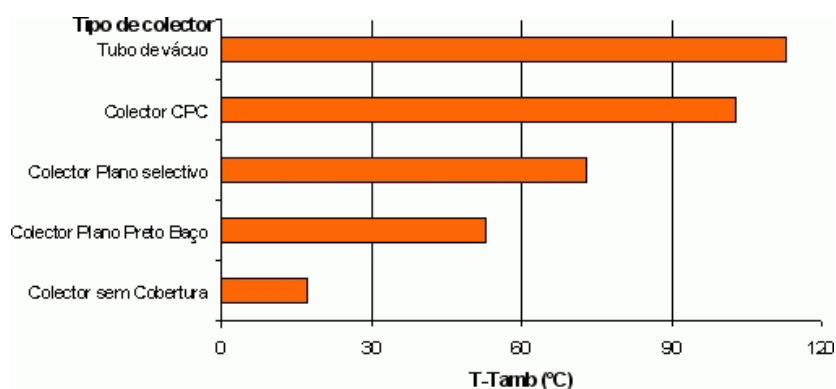


Ilustração 9. Tipos de colectores térmicos e temperaturas atingidas. [22]

Na Ilustração 9 estão representados os vários tipos de colectores térmicos disponíveis no mercado, em função da temperatura atingida.

Os colectores solares planos são os mais comuns e baratos devido à sua simplicidade. Dentro duma caixa isolada, absorvem o calor do Sol, directamente numa superfície pintada de preto fosco (placa absorvora), concentrando essa energia através do efeito estufa provocado pela cobertura transparente, transferindo-a para uma tubulação solidária com a placa preta. Destina-se à produção de água quente com temperaturas até 80 °C

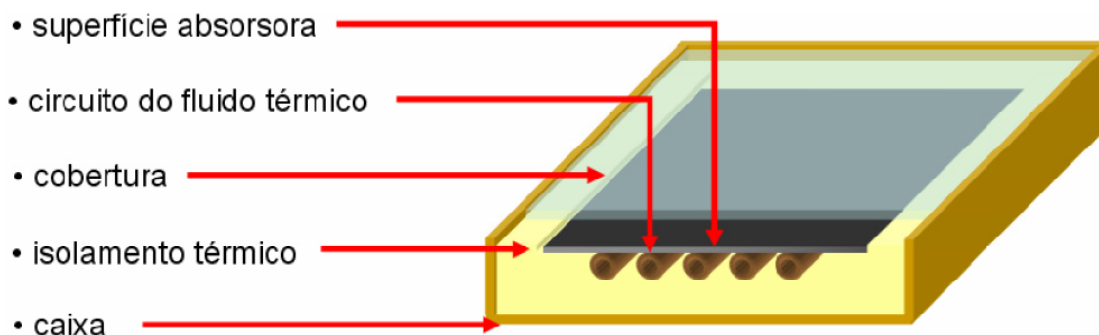


Ilustração 10. Constituintes dum coletor solar plano. [23]

- **Solar fotovoltaico**

Um dispositivo que converte a energia da luz solar directamente em electricidade denomina-se célula solar, contudo, é utilizado o termo “célula fotovoltaica” quando a fonte de luz não é especificada. As células mais utilizadas são do tipo semiconductor feito de silicone e basicamente, quando a luz atinge a célula parte da energia é absorvida pelo material semiconductor e liberta-se um electrão. Este electrão livre é forçado a mover-se numa direcção dentro do semiconductor, devido ao campo electrónico construído. Colocando contactos metálicos nas partes superior e inferior da célula solar, os electrões podem ser utilizados para conduzir uma carga eléctrica. [24]

A eficiência das células fotovoltaicas depende das características do local, como a radiação solar e temperatura, do sistema utilizado na captação de radiação e da composição das células. Os sistemas disponíveis de células fotovoltaicas são: sistemas normais (mais comuns), os tracking systems e de captação com superfície de reflexão.

O sistema de captação com superfície de reflexão alia os benefícios do sistema de captação, capaz de seguir o movimento do Sol, aos benefícios da radiação solar concentrada pela acção reflectora da superfície de reflexão, sendo obtidas eficiências várias vezes superiores do que seria possível com os outros sistemas. Por exemplo, se a superfície reflectora for constituída por espelhos, como na Ilustração 8, será 117% mais eficiente que o sistema tradicional.



Ilustração 11. Célula fotovoltaica com sistema tracking e espelhos reflectores. [25]

A eficiência máxima alcançada com uma célula de silicone monocristalina, a trabalhar a 0°C , é cerca de 24%. Esta eficiência máxima decresce proporcionalmente ao aumento da temperatura, sendo de 14% a 100°C . Na prática, a eficiência duma célula solar comercial está entre 15 a 18%. [26]

Se em todos os telhados existisse instalada uma célula solar, a energia produzida seria significativa. Um estudo Sueco indica que o potencial de produção eléctrica das células solares instaladas em telhados, na Suécia, com um retorno de 70% e 10% de eficiência, teria uma produção anual de 40 TWh. [27]

Grandes centrais eléctricas de células solares podem ser construídas em áreas remotas, por exemplo, em desertos e a produzir apenas hidrogénio que poderá ser utilizado como combustível em carros, como células combustíveis de hidrogénio ou em motores de combustão de Otto modificados.

O sistema solar fotovoltaico é um sistema de enquadramento simples, ajustável a várias necessidades energéticas, cujo funcionamento não requer combustíveis fósseis, sem emissões, barulho, cheiro, baixos custos de manutenção e tempo de vida elevado. As desvantagens deste sistema são os elevados custos iniciais, não ser economicamente competitivo e elevados custos na produção porque os componentes não existem disponíveis em grandes quantidades.

Manter o conforto térmico interior constitui uma grande parcela do consumo energético em edifícios. Foram apresentadas várias medidas para diminuir as necessidades de climatização, como o recurso a isolamento térmico.

3.5. Caracterização do caso de estudo

3.5.1. Descrição e localização

O caso de estudo é uma moradia unifamiliar, isolada numa zona rural (Ilustração 12), situada em Barbines, (altitude = 205 m). Freguesia de Alcobertas, Concelho de Rio Maior, Distrito de Santarém, coordenadas 39°24'25.39''N 8°45'14.03''O.

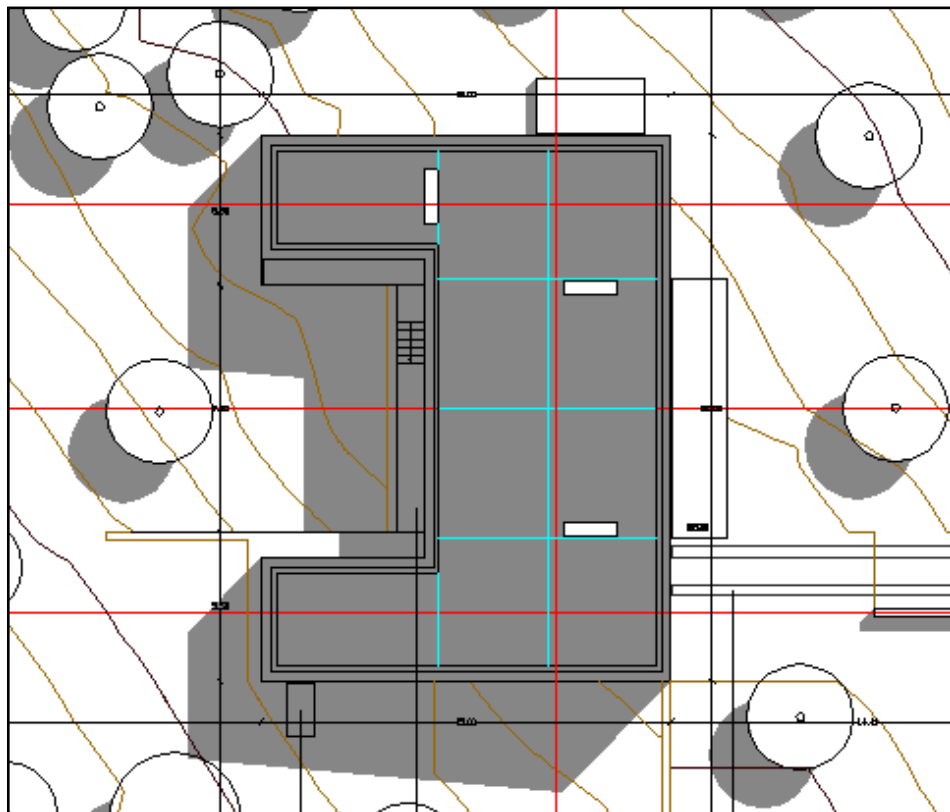


Ilustração 12. Planta de implementação do Anteprojecto “Barbines” – caso de estudo.

A moradia em Barbines foi projectada de acordo com os critérios de Eco-Arquitectura, e tem uma implantação num terreno em declive orientado a Sul, o que propicia um desenvolvimento da casa com uma orientação solar favorável. Está construída em 2 pisos, estando o Piso 0 ilustrado na Ilustração 13 e o Piso 1 na Ilustração 14. A vegetação circundante é constituída por castanheiros, pinheiros e freixos.

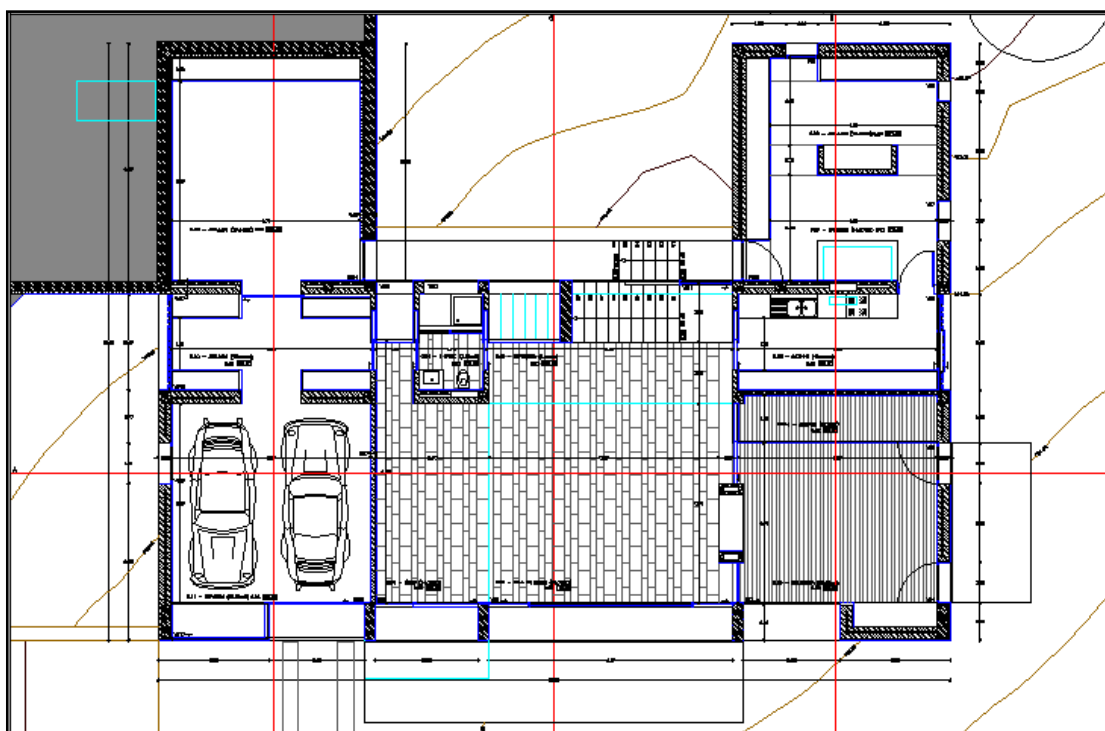


Ilustração 13. Planta do Piso 0 do Anteprojecto em Barbines.

No Piso 0 situa-se a cozinha, uma sala, biblioteca, WC, garagem fechada e arrumos.

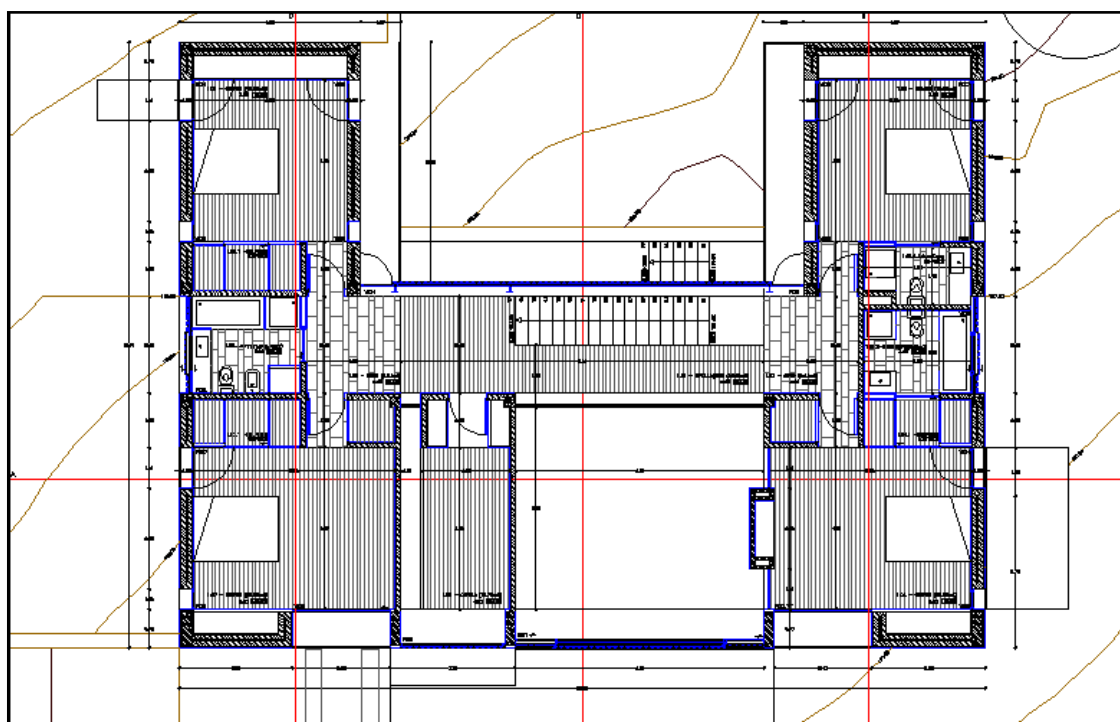


Ilustração 14. Planta do Piso 1 do Anteprojecto em Barbines

No Piso 1 estão 4 quartos, 3 WC's, uma sala e uma capela. A área do Piso 1 é menor que a do Piso 0, como é possível observar nas Ilustrações 13 e 14.



Ilustração 15. Alçado Sul

A orientação Sul Possui 2 pisos e vegetação a Nascente e Poente de folha caduca, permitindo restringir os ganhos solares no Verão e favorecê-los no Inverno, com se pode observar na Ilustração 15. A Sul, devida à inclinação do terreno, não existe vegetação com este efeito. Existem palas de sombreamento para ambos os pisos e uma enorme percentagem de envidraçados. No piso 1 os envidraçados da sala possuem protecções de ripado de madeira de correr.

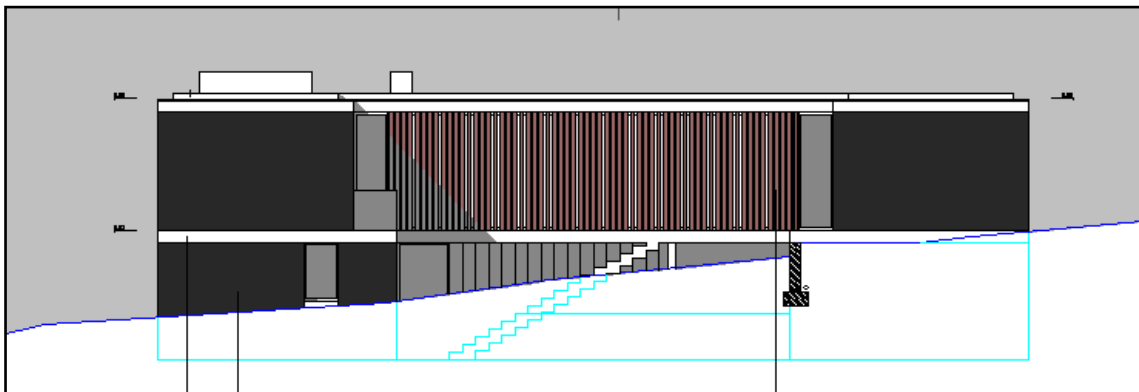


Ilustração 16. Alçado Norte.

O alçado Norte possui uma empena completamente enterrada enquanto a construção vai emergindo até ficar quase desenterrada, como se pode observar na Ilustração 16. Neste alçado a maior superfície de envidraçado, na sala do Piso 1, possui uma protecção exterior constituída por ripados de madeira de correr. Com os ripados corridos o alçado Norte fica quase cego.

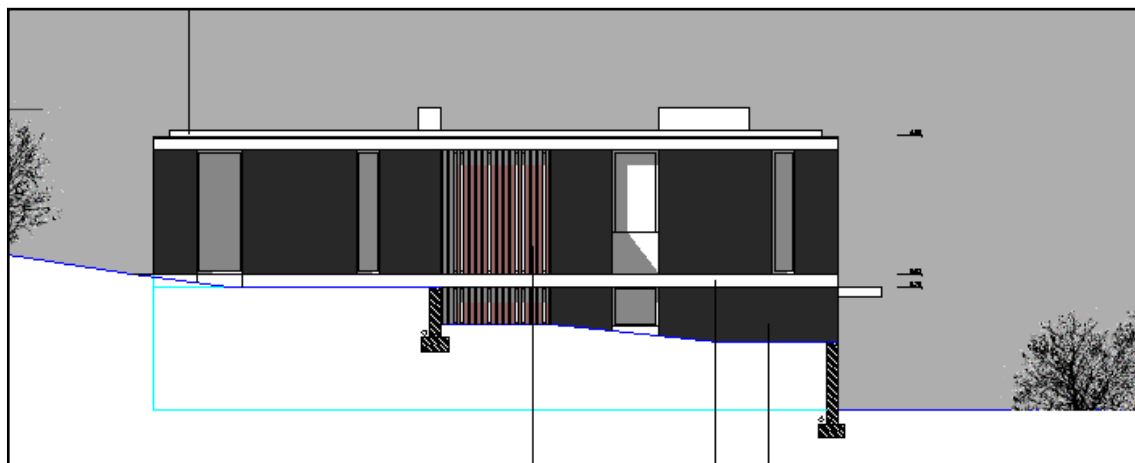


Ilustração 17. Alçado Poente.

Quase todo o piso 0 está enterrado no alçado Poente, sendo as áreas enterradas pertencentes a arrumos e garagem. Nota-se na Ilustração 17 a pala de protecção dos envidraçados do piso 0 do alçado Sul.

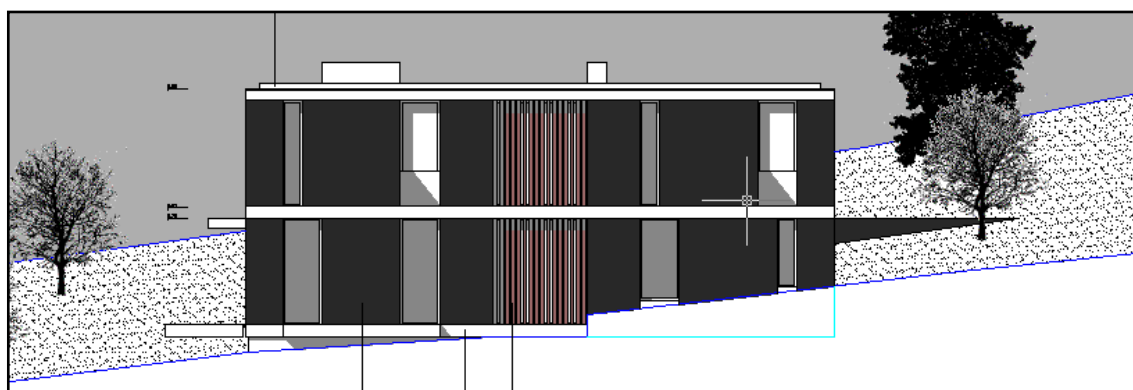


Ilustração 18. Alçado Nascente

Na Ilustração 18 nota-se que a vegetação envolvente protege, a Norte, dos ventos dominantes. O alçado Nascente possui envidraçados com palas de sombreamento e nas zonas de passagem interior os envidraçados possuem protecções exteriores de ripado de madeira de correr.

3.5.2. Verificação dos requisitos mínimos regulamentares do RCCTE

O edifício dispõe de exaustor na cozinha que, quando em funcionamento, extrai 300 m³/h através de um ventilador individual com uma potência eléctrica de 100 W. Numa das instalações sanitárias existe extracção mecânica accionada por um interruptor e assegurada por um ventilador colocado no alto da prumada, na cobertura, com o caudal total de 250 m³/h, cujo motor eléctrico tem uma potência nominal de 130 W.

O aquecimento funcionará através de piso radiante eléctrico, sendo o sistema de aquecimento considerado como sendo uma resistência eléctrica, para efeitos de cálculo.

A caixilharia do edifício é simples em madeira com vidro duplo (8 + 16 + 4 mm). Os envidraçados da sala e dos quartos dispõem de sombreamento constituído por portada exterior de madeira (cor média), além das cortinas interiores opacas em todos os envidraçados.

O isolamento térmico não contacta com a caixilharia em todo o seu perímetro.

De acordo com o Quadro III.1 do RCCTE, Barbines, Freguesia de Alcobertas, Concelho de Rio Maior, Distrito de Santarém (altitude = 205 m) apresenta as seguintes características:

- Zona climática de Inverno = I_2
- GD = 1570 °C dia
- Duração da estação de aquecimento = 6 meses
- Zona climática de Verão = V_2
- Temperatura externa do projecto = 33°C
- Amplitude térmica = 13°C

3.5.2.1. Envolvente opaca

A fim de verificar os requisitos mínimos do RCCTE, “nenhum elemento da envolvente de qualquer edifício pode ter um coeficiente de transmissão térmica em zona corrente (U) superior ao valor correspondente no Quadro IX.1”.

Quadro 1. Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos admissíveis de elementos opacos (Quadro IX.1 do RCCTE)

Elemento da envolvente	(U-W/m ² °C)		
	Zona climática (*)		
	I_1	I_2	I_3
Elementos exteriores em zona corrente (**):			
Zonas opacas verticais	1,8	1,60	1,45
Zonas opacas horizontais	1,25	1	0,90
Elementos interiores em zona corrente (***):			
Zonas opacas verticais	2	2	1,90
Zonas opacas horizontais	1,65	1,30	1,20

(*) V. anexo III.

(**) Incluindo elementos interiores em situações em que $\tau > 0,7$.

(***) Para outros edifícios e zonas anexas não úteis.

No caso presente, de acordo com os cálculos apresentados no Anexo I, tem-se:

- Elementos exteriores em zona corrente:

- Zonas opacas verticais:

$$U(\text{PE1}) = 0,46 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \leq U_{\text{max}} = 1,6 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \checkmark$$

$$U(\text{PE2}) = 0,59 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \leq U_{\text{max}} = 1,6 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \checkmark$$

$$U(\text{PE3}) = 0,85 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \leq U_{\text{max}} = 1,6 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \checkmark$$

$$U(\text{PE4}) = 0,65 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \leq U_{\text{max}} = 1,6 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \checkmark$$

$$U(\text{PE5}) = 0,79 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \leq U_{\text{max}} = 1,6 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \checkmark$$

$$U(\text{PE6}) = 0,55 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \leq U_{\text{max}} = 1,6 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \checkmark$$

$$U(\text{Cobertura/Porm. 3a}) = 0,87 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \leq U_{\text{max}} = 1,6 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \checkmark$$

$$U(\text{Cobertura/Porm. 3b}) = 0,64 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \leq U_{\text{max}} = 1,6 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \checkmark$$

$$U(\text{Piso intermédio/Porm. 4a}) = 0,66 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \leq U_{\text{max}} = 1,6 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \checkmark$$

$$U(\text{Piso intermédio/Porm. 4b}) = 0,86 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \leq U_{\text{max}} = 1,6 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \checkmark$$

- Zonas opacas horizontais:

$$U(\text{Laje 1a}) = 0,69 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \leq U_{\text{max}} = 1,6 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \checkmark$$

$$U(\text{Laje 1b}) = 1,92 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} > U_{\text{max}} = 1,6 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \Rightarrow \text{Não verifica o RCCTE!}$$

$$U(\text{Laje 2}) = 0,77 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \leq U_{\text{max}} = 1,6 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \checkmark$$

$$U(\text{Cobertura}) = 0,41 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \leq U_{\text{max}} = 1,6 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \checkmark$$

$$U(\text{Cobertura/Laje 3}) = 0,54 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \leq U_{\text{max}} = 1,6 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \checkmark$$

$$U(\text{Cobertura /Porm. 1a}) = 2,04 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} > U_{\text{max}} = 1,6 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \Rightarrow \text{Não verifica o RCCTE!}$$

$$U(\text{Cobertura/Porm. 1b}) = 0,65 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \leq U_{\text{max}} = 1,6 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \checkmark$$

$$U(\text{Cobertura/Porm. 2a}) = 0,72 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \leq U_{\text{max}} = 1,6 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \checkmark$$

$$U(\text{Cobertura/Porm. 2b}) = 0,62 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \leq U_{\text{max}} = 1,6 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \checkmark$$

$$U(\text{Cobertura/Porm. 3}) = 0,74 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \leq U_{\text{max}} = 1,6 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \checkmark$$

- Elementos interiores em zona corrente:

- Zonas opacas verticais:

$$U(\text{PI1}) = 1,43 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \leq U_{\text{max}} = 2 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \quad \checkmark$$

$$U(\text{PI2}) = 0,44 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \leq U_{\text{max}} = 2 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \quad \checkmark$$

$$U(\text{PE7}) = 0,46 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \leq U_{\text{max}} = 2 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \quad \checkmark$$

- Zonas opacas horizontais:

$$U(\text{Pavimento/Laje 5}) = 0,69 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \leq U_{\text{max}} = 1,3 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \quad \checkmark$$

O RCCTE impõe igualmente que “nenhuma zona de qualquer elemento opaco da envolvente, incluindo zonas de ponte térmica plana, nomeadamente pilares, vigas, caixas de estore, pode ter um valor de U , calculado de forma unidimensional na direcção normal à envolvente, superior ao dobro do dos elementos homólogos (verticais ou horizontais) em zona corrente, respeitando sempre, no entanto, os valores máximos indicados no Quadro IX.1”, Quadro 1 deste documento.

No caso presente, de acordo com os cálculos no Anexo I, tem-se:

$$\left. \begin{array}{l} U(\text{PE1}) = 0,46 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \\ U(\text{PE3}) = 0,85 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \end{array} \right\} \Rightarrow$$

$$U(\text{PE3}) = 0,85 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \leq 2 \times [U(\text{PE1}) = 0,46 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}] = 0,92 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \quad \checkmark$$

$$\left. \begin{array}{l} U(\text{PE2}) = 0,59 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \\ U(\text{PE4}) = 0,65 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \end{array} \right\} \Rightarrow$$

$$U(\text{PE4}) = 0,65 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \leq 2 \times [U(\text{PE2}) = 0,59 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}] = 1,18 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \quad \checkmark$$

$$\left. \begin{array}{l} U(\text{PE5}) = 0,79 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \\ U(\text{PE1}) = 0,46 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \end{array} \right\} \Rightarrow$$

$$U(\text{PE5}) = 0,79 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \leq 2 \times [U(\text{PE2}) = 0,46 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}] = 0,92 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \quad \checkmark$$

$$\left. \begin{array}{l} U(\text{PE5}) = 0,79 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \\ U(\text{PE2}) = 0,59 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \end{array} \right\} \Rightarrow$$

$$U(\text{PE5}) = 0,79 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \leq 2 \times [U(\text{PE2}) = 0,59 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}] = 1,18 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \checkmark$$

$$\left. \begin{array}{l} U(\text{PE6}) = 0,55 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \\ U(\text{PE1}) = 0,46 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \end{array} \right\} \Rightarrow$$

$$U(\text{PE6}) = 0,55 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \leq 2 \times [U(\text{PE1}) = 0,46 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}] = 0,92 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \checkmark$$

$$\left. \begin{array}{l} U(\text{Cobertura/Porm. 3a}) = 0,87 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \\ U(\text{Cobertura/Porm. 3b}) = 0,64 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \end{array} \right\} \Rightarrow$$

$$U(\text{Cobertura/Porm. 3a}) = 0,87 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \leq 2 \times [U(\text{Cobertura - Pormenor 3b}) = 0,64 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}] = 1,28 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \checkmark$$

$$\left. \begin{array}{l} U(\text{Piso intermédio/Porm. 4a}) = 0,66 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \\ U(\text{Piso intermédio/Porm. 4b}) = 0,86 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \end{array} \right\} \Rightarrow$$

$$U(\text{Piso intermédio/Porm. 4b}) = 0,86 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \leq 2 \times [U(\text{intermédio/Porm. 4a}) = 0,66 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}] = 1,32 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \checkmark$$

3.5.2.2. Vãos envidraçados

A fim de verificar os requisitos mínimos do RCCTE, “nenhum vão envidraçado da envolvente de qualquer edifício com área total superior a 5% da área útil de pavimento do espaço que serve, desde que não orientado a norte (entre noroeste e nordeste), pode apresentar um factor solar correspondente ao vão envidraçado com o(s) respectivo(s) dispositivo(s) de protecção 100 % activo(s) que exceda os valores indicados no Quadro IX.2”, Quadro 2 deste documento. Admita-se que a inércia do edifício é, neste caso, forte (v. secção 2.4.7.) Neste caso, $g_{Lmax} = 0,56$.

Quadro 2. Factores solares máximos admissíveis de vãos envidraçados com mais de 5% da área útil do espaço que servem (Quadro IX.2 do RCCTE).

	Zona climática (*)		
	V ₁	V ₂	V ₃
Classe de inércia térmica (**), factor solar:			
Fraca	0,15	0,15	0,10
Média	0,56	0,56	0,50
Forte	0,56	0,56	0,50

(*) V. anexo III.

(**) V. anexo VII.

Para vidro duplo (8 + 16 + 4 mm), $g_{LV} = 0,78$, de acordo com o Quadro 3 ou o Quadro IV.4.1 do RCCTE:

Quadro 3. Factor solar de alguns tipos de vidro (g_{LV}) (Quadro IV.4.1 do RCCTE).

Tipo	Factor solar
Vidro simples:	
Incolor:	
4 mm	0,88
5 mm	0,87
6 mm	0,85
8 mm	0,82
Colorido na massa (bronze, cinza, verde):	
4 mm	0,70
5 mm	0,65
6 mm	0,60
8 mm	0,55
Reflectante incolor:	
De 4 mm a 8 mm	0,60
Reflectante colorido na massa (bronze, cinza, verde):	
De 4 mm e 5 mm	0,50
De 6 mm e 8 mm	0,45
Vidro duplo:	
Incolor + incolor:	
(4 a 8) mm + 4 mm	0,78
(4 a 8) mm + 5 mm	0,75
Colorido na massa + incolor:	
4 mm + (4 a 8) mm	0,60
5 mm + (4 a 8) mm	0,55
6 mm + (4 a 8) mm	0,50

Dado que este valor é diferente do factor solar do vidro duplo corrente ($g_{\perp V} = 0,75$) e existem vãos envidraçados com dispositivos de protecção solar interior ou com protecção exterior não opaca, é necessário aplicar a fórmula:

$$g_{\perp} = \frac{g_{\perp} g_{\perp V}}{0,75}$$

em que:

g_{\perp} = factor solar do vão envidraçado

g_{\perp}' = factor solar do vão envidraçado com protecção solar e vidro incolor

$g_{\perp V}$ = factor solar do envidraçado

Então,

$$\begin{aligned} g_{\perp} \text{ (vãos envidraçados com protecção solar activada a 100\%)} &= (0,78 \times 0,37)/0,75 = \\ &= 0,38 \leq g_{\perp \max} = 0,56 \quad \checkmark \end{aligned}$$

Para os envidraçados que dispõem de portadas exteriores de madeira (cor média), g_{\perp} (vãos envidraçados com protecção solar activada a 100%) = $0,05 \leq g_{\perp \max} = 0,56 \quad \checkmark$

Quadro 4. Valores do factor solar de vãos com protecção solar activada a 100% e vidro corrente (g_{\perp}) (Quadro V.4 do RCCTE).

Tipo de protecção	Vidro simples — Cor da protecção			Vidro duplo — Cor da protecção		
	Clara	Média	Escura	Clara	Média	Escura
Protecções exteriores:						
Portada de madeira	0,04	0,07	0,09	0,03	0,05	0,06
Persiana:						
Régua de madeira	0,05	0,08	0,10	0,04	0,05	0,07
Régua metálica ou plástica	0,07	0,10	0,13	0,04	0,07	0,09
Estore veneziano:						
Lâminas de madeira	—	0,11	—	—	0,08	—
Lâminas metálicas	—	0,14	—	—	0,09	—
Estore:						
Lona opaca	0,07	0,09	0,12	0,04	0,06	0,08
Lona pouco transparente	0,14	0,17	0,19	0,10	0,12	0,14
Lona muito transparente	0,21	0,23	0,25	0,16	0,18	0,20
Protecções interiores:						
Estores de lâminas	0,45	0,56	0,65	0,47	0,59	0,69
Cortinas:						
Opacas	0,33	0,44	0,54	0,37	0,46	0,55
Ligeiramente transparentes	0,36	0,46	0,56	0,38	0,47	0,56
Transparentes	0,38	0,48	0,58	0,39	0,48	0,58
Muito transparentes	0,70	—	—	0,63	—	—
Portadas de madeira (opacas)	0,30	0,40	0,50	0,35	0,46	0,58
Persianas de madeira	0,35	0,45	0,57	0,40	0,55	0,65
Protecção entre dois vidros — estore veneziano, lâminas delgadas				0,28	0,34	0,40

No caso dos vãos envidraçados da sala e corredores, que dispõem de portadas exteriores de madeira (cor média), os factores solares na estação de aquecimento (Inverno), $g_{\perp \text{Inv}}$, e na estação de arrefecimento (Verão), $g_{\perp \text{Ver}}$, são dados respectivamente por:

$$g_{\perp \text{Inv}} = (0,78 \times 0,37)/0,75 = 0,38$$

e

$$g_{\perp \text{Ver}} = 0,3 \times g_{\perp \text{Inv}} + 0,7 \times g_{\perp}' = 0,3 \times 0,78 + 0,7 \times 0,05 = 0,27$$

3.5.2.3. Correção das situações não-regulamentares

- **Envolvente opaca**

A fim de verificar os requisitos mínimos do RCCTE, é necessário corrigir nas zonas opacas horizontais:

- no pavimento térreo, o local identificado como Laje 1b:

$$U(\text{Laje 1b}) = 1,92 \text{ W m}^{-2} \text{ °C}^{-1} > U_{\text{max}} = 1,6 \text{ W m}^{-2} \text{ °C}^{-1}$$

Para tal, basta utilizar uma camada de isolamento térmico de poliestireno expandido extrudido (XPS) com uma espessura de 3 cm ($R = 0,81 \text{ W}^{-1} \text{ m}^2 \text{ °C}$), a fim de evitar pontes térmicas e conduz a:

$$U(\text{Laje } 1b_{\text{corrigido}}) = 0,76 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \leq U_{\text{max}} = 1,6 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \checkmark$$

- na zona da cobertura, o pormenor 1a necessita ser corrigido, dado que:

$$U(\text{Cobertura/Porm. 1a}) = 2,04 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} > U_{\text{max}} = 1,6 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$$

Assim, substituindo a solução inicial pela solução com uma camada de isolamento térmico do tipo XPS com 3 cm de espessura, fica:

$$U(\text{Cobertura/Porm. 1a}_{\text{corrigido}}) = 0,66 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \leq U_{\text{max}} = 1,6 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \checkmark$$

Nas zonas de ponte térmica, tem-se:

$$U(\text{Laje } 1b_{\text{corrigido}}) = 0,76 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \leq 2 \times [U(\text{Laje } 1a) = 0,69 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}] = 1,38 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \checkmark$$

$$U(\text{Cobertura/Porm. 1a}_{\text{corrigido}}) = 0,66 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \leq 2 \times [U(\text{Cobertura/Laje } 3)] = 0,54 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} = 1,08 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \checkmark$$

3.5.2.4. Cálculo da classe de inércia térmica

O cálculo da inércia térmica interior da fracção autónoma é realizado de acordo com o RCCTE, com base na fórmula:

$$I_t = \frac{\sum M_{si} S_i r}{A_p}$$

em que:

I_t = massa superficial útil por metro quadrado de área de pavimento (kg m^{-2})

M_{si} = massa superficial útil do elemento i (kg m^{-2})

A_p = área útil do pavimento (m^2)

r = factor de revestimento (-)

No caso da moradia unifamiliar em análise considerou-se que não é relevante o cálculo dos valores de m_{si} para o cálculo da inércia térmica, dado que em Portugal a classe de inércia dos edifícios é normalmente “forte”.

São os materiais pesados e maciços que constituem a inércia térmica dos edifícios e, quando bem aplicados, conferem aos espaços interiores uma maior estabilidade térmica. Como é indicado pela palavra ‘inércia’, estes materiais pesados - betão, tijolos, rebocos,

estuques, pedra - interagem muito lentamente com as temperaturas do meio que as rodeia e armazenam as respectivas temperaturas médias, porque as temperaturas de pico (quente e frio) não se mantêm durante suficiente tempo para serem acumuladas por estes materiais, assim, estes materiais conferem uma inércia térmica forte num clima como o de Portugal. [29, adaptado]

Quadro 5. Classe de inércia térmica interior (Quadro VII.6 do RCCTE).

Classe de inércia	Massa superficial útil por metro quadrado da área de pavimento (kg/m ²)
Fraca	$I_t < 150$
Média	$150 \leq I_t \leq 400$
Forte	$I_t > 400$

3.5.2.5. Cálculo dos coeficientes τ

O cálculo dos coeficientes τ (temperatura adimensional de espaços não úteis) é realizado de acordo com a metodologia adoptada no RCCTE. Assim, o valor de cada coeficiente τ pode ser obtido em função do tipo de espaço não útil e da razão A_i/A_u , em que:

A_i = área do elemento que separa o espaço útil interior do espaço não útil (m²)

A_u = área do elemento que separa o espaço não útil do ambiente exterior (m²).

No caso da habitação unifamiliar em estudo, verifica-se a existência de um coeficiente τ , nomeadamente para o espaço não útil “garagem privada”.

$$\frac{A_i}{A_u} = \frac{(5 \times 2,7) + (5 \times 2,7)}{(5 \times 2,7) + (5 \times 2,7)} = 1$$

De acordo com o Quadro 6 ou o Quadro IV.1 do RCCTE, para garagens privadas com A_i/A_u compreendido entre 0 e 1, tem-se $\tau = 0,5$.

Quadro 6. Valores do coeficiente τ (Quadro IV.1 do RCCTE).

Tipo de espaço não útil	$A_e/A_{e,0}$		
	De 0 a 1	De 1 a 10	Maior que 10
1 — Circulação comum:			
1.1 — Sem abertura directa para o exterior.....	0,6	0,3	0
1.2 — Com abertura permanente para o exterior (por exemplo, para ventilação ou desenfumagem):			
a) Área de aberturas permanentes/volume total $< 0,05 \text{ m}^3/\text{m}^3$	0,8	0,5	0,1
b) Área de aberturas permanentes/volume total $\geq 0,05 \text{ m}^3/\text{m}^3$	0,9	0,7	0,3
2 — Espaços comerciais.....	0,8	0,6	0,2
3 — Edifícios adjacentes.....	0,6	0,6	0,6
4 — Armazéns.....	0,95	0,7	0,3
5 — Garagens:			
5.1 — Privada.....	0,8	0,5	0,3
5.2 — Colectiva.....	0,9	0,7	0,4
5.3 — Pública.....	0,95	0,8	0,5
6 — Varandas, marquises e similares ⁽²⁾	0,8	0,6	0,2
7 — Coberturas sobre desvão não habitado (acessível ou não) ⁽³⁾ :			
7.1 — Desvão não ventilado.....	0,8	0,6	0,4
7.2 — Desvão fracamente ventilado.....	0,9	0,7	0,5
7.3 — Desvão fortemente ventilado.....		1	

(1) A_e — área do elemento que separa o espaço útil interior do espaço não útil.

$A_{e,0}$ — área do elemento que separa o espaço não útil do ambiente exterior.

(2) Corresponde aos espaços do tipo varandas e marquises fechadas, ou equivalentes, em que a envolvente de separação com os espaços aquecidos deve satisfazer, obrigatoriamente, os requisitos mínimos de coeficiente de transmissão térmica (U) definidos no anexo IX.

(3) Os valores de τ indicados neste ponto aplicam-se aos desvãos não habitados (não úteis) de coberturas inclinadas, acessíveis ou não. No caso dos desvãos acessíveis, estes podem não ter qualquer uso ou ser utilizados, nomeadamente, como zona de arrecadações ou espaços técnicos. A caracterização da ventilação baseia-se nas definições que constam do anexo II.

Nota. — Sempre que $\tau > 0,7$, ao elemento que separa o espaço útil interior do espaço não útil aplicam-se os requisitos mínimos definidos no anexo IX para os elementos exteriores da envolvente (v. n.º 2 do artigo 18.º do texto regulamentar).

3.5.2.6. Balanço térmico

O cálculo do balanço térmico é realizado de acordo com a metodologia adoptada no RCCTE.

Estação de aquecimento (Inverno)

- *Perdas associadas à envolvente opaca exterior e interior*

Para calcular as perdas associadas à envolvente opaca exterior e interior (folhas de cálculo FC V.1a e FC V.1b do RCCTE, respectivamente), foi necessário introduzir os valores das áreas das paredes, pavimentos e coberturas, e do respectivo coeficiente U (v. Anexo III), bem como do comprimento de pontes térmicas lineares, B , e dos respectivos valores dos coeficientes de transmissão térmica linear, ψ . As perdas associadas à envolvente interna foram afectadas pelo coeficiente τ , de acordo com o RCCTE.

- *Perdas associadas aos vãos envidraçados exteriores*

Para calcular as perdas associadas aos vãos envidraçados exteriores (folha de cálculo FC V.1c do RCCTE), é necessário introduzir os valores das áreas dos vãos envidraçados e do respectivo coeficiente U (v. Anexo III).

- *Perdas associadas à renovação de ar*

Para calcular as perdas associadas à renovação de ar (folha de cálculo FC V.1d do RCCTE), é necessário, em primeiro lugar, introduzir o valor do pé-direito médio da fracção autónoma. No caso da fracção em estudo, a área útil do pavimento, A_p , é igual a 401,90 m² e o respectivo pé-direito é igual a 2,7 m, excepto nos quartos-de-banho que dispõem de tectos falsos e cuja área conjunta é igual a 19,08 m², sendo o correspondente pé-direito igual a 2,5 m. Neste caso, tem-se:

$$P_{d,médio} = \frac{(401,90 - 19,08)(2,7) + (19,08)(2,5)}{401,90} \cong 2,7 \text{ m}$$

De acordo com o RCCTE, admitiu-se que, no caso presente, a classe de caixilharia era igual a 1 e que a classe de exposição era igual a 2 (v. Quadro 7 ou Quadro IV.2 do RCCTE).

Quadro 7. Classes de exposição ao vento das fachadas do edifício ou da fracção autónoma (Quadro IV.2 do RCCTE).

Altura acima do solo	Região A			Região B		
	I	II	III	I	II	III
Menor que 10 m	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3
De 10 m a 18 m	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 4
De 18 m a 28 m	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 4	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 4
Superior a 28 m	Exp. 3	Exp. 4	Exp. 4	Exp. 3	Exp. 4	Exp. 4

Notas

Região A — todo o território nacional, excepto os locais pertencentes à região B.
 Região B — Regiões Autónomas dos Açores e da Madeira e as localidades situadas numa faixa de 5 km de largura junto à costa e ou de altitude superior a 600 m.
 Rugosidade I — edifícios situados no interior de uma zona urbana.
 Rugosidade II — edifícios situados na periferia de uma zona urbana ou numa zona rural.
 Rugosidade III — edifícios situados em zonas muito expostas (sem obstáculos que atenuem o vento).

Verificou-se também se a área de envidraçados é superior a 15% de A_p :

$$\frac{A_{env}}{A_p} = \frac{154,65}{401,90} = 0,3848 > 0,15$$

- *Ganhos úteis na estação de aquecimento*

Para calcular ganhos úteis na estação de aquecimento (folha de cálculo FC V.1e do RCCTE), é necessário calcular o factor de orientação, factor solar do vidro, factor de obstrução, fracção envidraçada e factor de selectividade angular de cada vão envidraçado.

Para os vãos envidraçados, o factor de orientação, X encontra-se no Quadro 8 ou no Quadro IV.4 do RCCTE, de acordo com a orientação pretendida. Neste caso as orientações dos vãos a N, NE, NW, E, W e S.

Quadro 8. Factor de Orientação X (Quadro IV.4 do RCCTE).

	Ocidente N.	Ocidentes NE e NW.	Ocidentes E e W.	Ocidentes SE e SW.	Ocidente S.	Horizontal
X	0,27	0,33	0,56	0,84	1	0,89

O factor de sombreamento do horizonte, F_h , é calculado por defeito adoptando um ângulo de horizonte de 20° , o correspondente a edifícios isolados fora de zonas urbanas, como é o caso.

Assim, de acordo com os valores no Quadro 8 ou Quadro IV.5 do RCCTE, para os vãos orientados a:

- N $\Rightarrow F_h = 1$
- NE e NW $\Rightarrow F_h = 0,96$
- E e W $\Rightarrow F_h = 0,84$
- S $\Rightarrow F_h = 0,90$

Quadro 9. Valores do factor de sombreamento do horizonte (F_h) – Situação de Inverno (Quadro IV.5 do RCCTE).

Ângulo do horizonte	Horizontal	N.	NE/NW.	E/W.	SE/SW.	S.
Latitude 39° (continente e Açores)						
0°	1	1	1	1	1	1
10°	0,99	1	0,96	0,94	0,96	0,97
20°	0,95	1	0,96	0,84	0,88	0,90
30°	0,82	1	0,85	0,71	0,68	0,67
40°	0,67	1	0,81	0,61	0,52	0,50
45°	0,62	1	0,80	0,58	0,48	0,45
Latitude 33° (Madeira)						
0°	1	1	1	1	1	1
10°	1	1	0,96	0,96	0,97	0,98
20°	0,96	1	0,91	0,87	0,90	0,93
30°	0,88	1	0,85	0,75	0,77	0,80
40°	0,71	1	0,81	0,64	0,59	0,58
45°	0,64	1	0,80	0,60	0,53	0,51

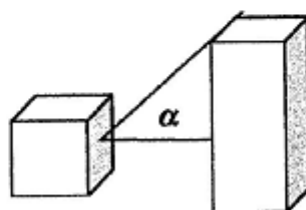


Fig. IV.4.5 — Ângulo de horizonte (α), medido a partir do ponto médio do vão envidraçado.

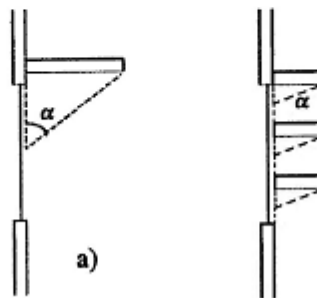
Para os vãos envidraçado orientados a S no piso 0, nomeadamente EV8 S, EV9 S e EV10 S, o factor de sombreamento por elementos horizontais, F_0 , apresenta o valor:

$\gamma = 37^\circ \Rightarrow F_0$ (ENV8 S, EV9 S e EV10 S) = 0,66 (por interpolação dos valores na Tabela IV.5 do RCCTE).

Nos restantes vãos envidraçados não há sombreamento por elementos horizontais.

Quadro 10. Valores do factor de sombreamento por elementos horizontais (F_0) - Situação de Inverno (Quadro IV.6 do RCCTE).

Ângulo da pala	N.	NE/NW.	E/W.	SE/SW.	S
Latitude 39° (continente e Açores)					
0°	1	1	1	1	1
30°	1	0,94	0,84	0,76	0,73
45°	1	0,90	0,74	0,63	0,59
60°	1	0,85	0,64	0,49	0,44
Latitude 33° (Madeira)					
0°	1	1	1	1	1
30°	1	0,92	0,82	0,68	0,45
45°	1	0,88	0,72	0,60	0,56
60°	1	0,83	0,62	0,48	0,43



Secção vertical

α — ângulo da pala horizontal, medido a partir do ponto médio do vão envidraçado.

O factor de sombreamento por elementos verticais, F_f , apresenta $\beta = 15^\circ$ em todas as palas verticais existentes e conforme a orientação, apresenta o valor obtido por interpolação do Quadro 11 ou da Tabela IV.5 do RCCTE:

- N $\Rightarrow F_f = 1$
- W $\Rightarrow F_f = 1$
- E $\Rightarrow F_f = 0,93$
- S $\Rightarrow F_f = 0,97$

Quadro 11. Valores do factor de sombreamento por elementos verticais (F_f - Situação de Inverno (Quadro IV.7 do RCCTE)).

Posição da pala vertical	Ângulo da pala vertical	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
	0°	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	30°	1,00	1,00	1,00	0,97	0,93	0,91	0,87	0,89
	45°	1,00	1,00	1,00	0,95	0,88	0,86	0,80	0,84
	60°	1,00	1,00	1,00	0,91	0,83	0,79	0,72	0,80
	0°	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	30°	1,00	0,89	0,87	0,91	0,93	0,97	1,00	1,00
	45°	1,00	0,84	0,80	0,86	0,88	0,95	1,00	1,00
	60°	1,00	0,80	0,72	0,79	0,83	0,91	1,00	1,00
	0°	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	30°	1,00	0,89	0,86	0,88	0,85	0,88	0,86	0,89
	45°	1,00	0,84	0,80	0,80	0,76	0,80	0,80	0,84
	60°	1,00	0,80	0,71	0,71	0,65	0,71	0,71	0,80

Secção horizontal
 β — ângulo da pala vertical, medido a partir do ponto médio do vão envidraçado

Finalmente, o factor de obstrução, F_s , é, para cada vão envidraçado, igual a:

- Vãos envidraçados do Piso 0

$$F_s (\text{ENV1 N}) = F_h F_0 F_f = (1) (0,90) = 0,9$$

$$F_s (\text{ENV2 N}) = F_h F_0 F_f = (1) (0,90) = 0,9$$

$$F_s (\text{ENV3 E}) = F_h F_0 F_f = (0,84) (0,90) = 0,765$$

$$F_s (\text{ENV4 E}) = F_h F_0 F_f = (0,84) (0,90) = 0,765$$

$$F_s (\text{ENV5 E}) = F_h F_0 F_f = (0,84) (0,90) = 0,765$$

$$F_s (\text{ENV6 E}) = F_h F_0 F_f = (0,84) (0,90) = 0,765$$

$$F_s (\text{ENV7 E}) = F_h F_0 F_f = (0,84) (0,90) = 0,765$$

$$F_s (\text{ENV8 S}) = F_h F_0 F_f = (0,90) (0,66) (1) = 0,594$$

$$F_s (\text{ENV9 S}) = F_h F_0 F_f = (0,90) (0,66) (1) = 0,594$$

$$F_s (\text{ENV10 S}) = F_h F_0 F_f = (0,90) (0,66) (1) = 0,594$$

$$F_s (\text{ENV11 W}) = F_h F_0 F_f = (0,84) (0,90) = 0,765$$

$$F_s (\text{ENV12 w}) = F_h F_0 F_f = (0,84) (0,90) = 0,765$$

- Vãos envidraçados do piso 1

$$F_s (\text{ENV13 NW}) = F_h F_0 F_f = (0,96) (0,90) = 0,864$$

$$F_s (\text{ENV14 NW}) = F_h F_0 F_f = (0,96) (0,90) = 0,864$$

$$F_s (\text{ENV15 N}) = F_h F_0 F_f = (1) (0,90) = 0,9$$

$$F_s (\text{ENV16 N}) = F_h F_0 F_f = (1) (0,90) = 0,9$$

$$F_s (\text{ENV17 N}) = F_h F_0 F_f = (1) (0,90) = 0,9$$

$$F_s (\text{ENV18 N}) = F_h F_0 F_f = (1) (1) (1) = 1$$

$$F_s (\text{ENV19 NE}) = F_h F_0 F_f = (0,96) (0,90) = 0,864$$

$$F_s (\text{ENV20 NE}) = F_h F_0 F_f = (0,96) (0,90) = 0,864$$

$$F_s (\text{ENV21 E}) = F_h F_0 F_f = (0,84) (1) (0,93) = 0,781$$

$$F_s (\text{ENV22 E}) = F_h F_0 F_f = (0,84) (0,90) = 0,765$$

$$F_s (\text{ENV23 E}) = F_h F_0 F_f = (0,84) (0,90) = 0,765$$

$$F_s (\text{ENV24 E}) = F_h F_0 F_f = (0,84) (1) (0,93) = 0,781$$

$$F_s (\text{ENV25 E}) = F_h F_0 F_f = (0,84) (0,90) = 0,765$$

$$F_s (\text{ENV26 S}) = F_h F_0 F_f = (0,90) (1) (0,97) = 0,873$$

$$F_s (\text{ENV27 S}) = F_h F_0 F_f = (0,90) (0,90) = 0,81$$

$$F_s (\text{ENV28 S}) = F_h F_0 F_f = (0,90) (0,90) = 0,81$$

$$F_s (\text{ENV29 S}) = F_h F_0 F_f = (0,90) (1) (0,97) = 0,873$$

$$F_s (\text{ENV30 W}) = F_h F_0 F_f = (0,84) (0,90) = 0,765$$

$$F_s (\text{ENV31 W}) = F_h F_0 F_f = (0,84) (1) (1) = 0,84$$

$$F_s (\text{ENV32 W}) = F_h F_0 F_f = (0,84) (0,90) = 0,765$$

$$F_s (\text{ENV33 W}) = F_h F_0 F_f = (0,84) (0,90) = 0,765$$

$$F_s (\text{ENV34 W}) = F_h F_0 F_f = (0,84) (0,90) = 0,765$$

dado que, de acordo com o RCCTE, quando o vão envidraçado não dispuser de quaisquer palas de sombreamento horizontais e verticais, deve considerar-se o produto $F_0 F_f = 0,90$, a fim de contabilizar o efeito de sombreamento do contorno do vão. Ainda de acordo com o RCCTE, em qualquer caso, o produto $X F_h F_0 F_f = X F_s$ deve ser maior do que 0,27:

- Piso 0

$$X F_s (\text{ENV1 N}) = (0,27) (0,9) = 0,24 < 0,27 \Rightarrow X F_s (\text{ENV1 N}) = 0,27$$

$$X F_s (\text{ENV2 N}) = (0,27) (0,9) = 0,24 < 0,27 \Rightarrow X F_s (\text{ENV2 N}) = 0,27$$

$$X F_s (\text{ENV3 E}) = (0,56) (0,765) = 0,43 \geq 0,27 \checkmark$$

$$X F_s (\text{ENV4 E}) = (0,56) (0,765) = 0,43 \geq 0,27 \checkmark$$

$$X F_s (\text{ENV5 E}) = (0,56) (0,765) = 0,43 \geq 0,27 \checkmark$$

$$X F_s (\text{ENV6 E}) = (0,56) (0,765) = 0,43 \geq 0,27 \checkmark$$

$$X F_s (\text{ENV7 E}) = (0,56) (0,765) = 0,43 \geq 0,27 \checkmark$$

$$X F_s (\text{ENV8 S}) = (1) (0,594) = 0,594 \geq 0,27 \checkmark$$

$$X F_s (\text{ENV9 S}) = (1) (0,594) = 0,594 \geq 0,27 \checkmark$$

$$X F_s (\text{ENV10 S}) = (1) (0,594) = 0,594 \geq 0,27 \checkmark$$

$$X F_s (\text{ENV11 W}) = (0,56) (0,765) = 0,43 \geq 0,27 \checkmark$$

$$X F_s (\text{ENV12 W}) = (0,56) (0,765) = 0,43 \geq 0,27 \checkmark$$

- Piso 1

$$X F_s (\text{ENV13 NW}) = (0,33) (0,864) = 0,29 \geq 0,27 \checkmark$$

$$X F_s (\text{ENV14 NW}) = (0,33) (0,864) = 0,29 \geq 0,27 \checkmark$$

$$X F_s (\text{ENV15 N}) = (0,27) (0,9) = 0,24 < 0,27 \Rightarrow X F_s (\text{ENV15 N}) = 0,27$$

$$X F_s (\text{ENV16 N}) = (0,27) (0,9) = 0,24 < 0,27 \Rightarrow X F_s (\text{ENV16 N}) = 0,27$$

$$X F_s (\text{ENV17 N}) = (0,27) (0,9) = 0,24 < 0,27 \Rightarrow X F_s (\text{ENV17 N}) = 0,27$$

$$X F_s (\text{ENV18 N}) = (0,27) (1) = 0,27 \geq 0,27 \checkmark$$

$$X F_s (\text{ENV19 NE}) = (0,33) (0,864) = 0,29 \geq 0,27 \checkmark$$

$$X F_s (\text{ENV20 NE}) = (0,33) (0,864) = 0,29 \geq 0,27 \quad \checkmark$$

$$X F_s (\text{ENV21 E}) = (0,56) (0,781) = 0,44 \geq 0,27 \quad \checkmark$$

$$X F_s (\text{ENV22 E}) = (0,56) (0,765) = 0,43 \geq 0,27 \quad \checkmark$$

$$X F_s (\text{ENV23 E}) = (0,56) (0,765) = 0,43 \geq 0,27 \quad \checkmark$$

$$X F_s (\text{ENV24 E}) = (0,56) (0,781) = 0,44 \geq 0,27 \quad \checkmark$$

$$X F_s (\text{ENV25 E}) = (0,56) (0,765) = 0,43 \geq 0,27 \quad \checkmark$$

$$X F_s (\text{ENV26 S}) = (1) (0,873) = 0,873 \geq 0,27 \quad \checkmark$$

$$X F_s (\text{ENV27 S}) = (1) (0,81) = 0,81 \geq 0,27 \quad \checkmark$$

$$X F_s (\text{ENV28 S}) = (1) (0,81) = 0,81 \geq 0,27 \quad \checkmark$$

$$X F_s (\text{ENV29 S}) = (1) (0,873) = 0,873 \geq 0,27 \quad \checkmark$$

$$X F_s (\text{ENV30 W}) = (0,56) (0,765) = 0,43 \geq 0,27 \quad \checkmark$$

$$X F_s (\text{ENV31 W}) = (0,56) (0,84) = 0,47 \geq 0,27 \quad \checkmark$$

$$X F_s (\text{ENV32 W}) = (0,56) (0,765) = 0,43 \geq 0,27 \quad \checkmark$$

$$X F_s (\text{ENV33 W}) = (0,56) (0,84) = 0,47 \geq 0,27 \quad \checkmark$$

$$X F_s (\text{ENV34 W}) = (0,56) (0,765) = 0,43 \geq 0,27 \quad \checkmark$$

A fracção envidraçada, F_g , é dada pelo Quadro 12 ou Quadro IV.5 do RCCTE, sendo, para janelas de madeira, igual a 0,65.

Quadro 12. Fracção envidraçada para diferentes tipos de caixilharia (Quadro IV.5 do RCCTE).

Tipo de caixilharia	F_g	
	Caixilho sem quadricula	Caixilho com quadricula
Janelas de alumínio ou aço	0,70	0,60
Janelas de madeira ou PVC	0,65	0,57
Fachadas-cortina de alumínio ou aço	0,90	

O factor de correcção da selectividade angular dos envidraçados, F_w , é, para os vidros correntes simples e duplos, igual a 0,9.

Estação de arrefecimento (Verão)

- *Perdas*

Para calcular as perdas é necessário preencher a folha de cálculo FC V.1a do RCCTE, com base nos valores obtidos nas folhas de cálculo FC IV.1a, FC IV.1b e FC IV.1d do mesmo documento. A temperatura média do ar exterior na estação de arrefecimento, θ_{am} , é igual, no caso presente, a 19°C, de acordo com o Quadro 13 ou Quadro III.9 do RCCTE.

Quadro 13. Valores médios da temperatura do ar exterior e da intensidade da radiação solar para a estação convencional de arrefecimento (Junho a Setembro) (Quadro III.9 do RCCTE).

Zona	θ_{am}	N.	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Horiz
V ₁ N.	19	200	300	420	430	380	430	420	300	730
V ₁ S.	21	200	310	420	430	380	440	430	320	760
V ₂ N.	19	200	320	450	470	420	470	450	320	790
V ₂ S.	23	200	340	470	460	380	460	470	340	820
V ₃ N.	22	200	320	450	460	400	460	450	320	800
V ₃ S.	23	210	330	460	460	400	470	460	330	820
Açores	21	190	270	360	370	340	370	360	270	640
Madeira	21	200	300	380	380	320	370	380	300	700

- *Perdas associadas a coberturas e envidraçados exteriores*

Para calcular as perdas é necessário preencher a folha de cálculo FC V.1b do RCCTE, que, neste caso, é idêntica à folha de cálculo FC IV.1c do RCCTE (v. Anexo II).

- *Ganhos solares pela envolvente opaca*

Para calcular os ganhos solares pela envolvente opaca (folha de cálculo FC V.1c do RCCTE), é necessário introduzir os valores das áreas das paredes e do respectivo coeficiente U (v. Anexo II), bem como do coeficiente de absorção, α (v. Quadro 14 ou Quadro V.5 do RCCTE) e da intensidade de radiação solar na estação de arrefecimento (v. Quadro 13 ou Quadro III.9 do RCCTE).

Quadro 14. Cor da superfície exterior da protecção solar (Quadro V.5 do RCCTE).

Cor da protecção	Clara	Média	Escura
Coeficiente de absorção solar da superfície exterior da protecção Cor	0,4 Branco. Creme. Amarelo. Laranja. Vermelho-claro.	0,5 Vermelho-escuro. Verde-claro. Azul-claro.	0,8 Castanho. Verde-escuro. Azul-vivo. Azul-escuro. Preto.

- *Ganhos solares pelos envidraçados exteriores*

Para calcular os ganhos solares pelos envidraçados exteriores (folha de cálculo FC V.1d do RCCTE, v. Anexo II), é necessário introduzir os valores das áreas de cada envidraçado, bem como os respectivos factores solares, g_{LVer} , factores de obstrução, F_s , e factores de selectividade dos vidros, F_w .

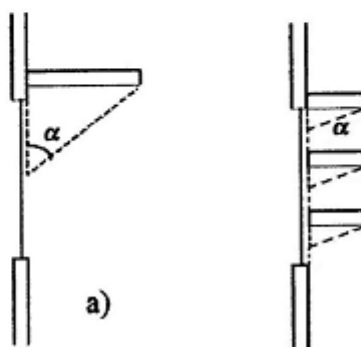
Os factores solares do vão envidraçado são $g_{\perp \text{Ver}} = 0,27$ e $g_{\perp \text{Ver}} = 0,56$ de acordo com os cálculos efectuados (v. Secção 2.4.4.). O factor de horizonte, F_h considera-se igual a 1 de acordo com o RCCTE.

Para os vãos envidraçados orientado a S no piso 0, o factor de sombreamento por elementos horizontais, F_0 , apresenta o valor:

$\gamma = 37^\circ \Rightarrow F_0$ (ENV8 S, EV9 S e EV10 S) = 0,59 (por interpolação dos valores do Quadro 15 ou na Tabela V.1 do RCCTE)

Quadro 15. Valores do factor de sombreamento dos elementos horizontais (F_0) – Situação de Verão (Tabela V.1 do RCCTE).

Ângulo da pala	N	NE/NW	E/W	SE/SW	S
Latitude 39° (continente e Açores)					
0°	1	1	1	1	1
30°	0,98	0,86	0,75	0,68	0,63
45°	0,97	0,78	0,64	0,57	0,55
60°	0,94	0,70	0,55	0,50	0,52
Latitude 33° (Madeira)					
0°	1	1	1	1	1
30°	0,97	0,84	0,74	0,69	0,68
45°	0,95	0,76	0,63	0,60	0,62
60°	0,92	0,68	0,55	0,54	0,60



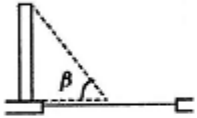
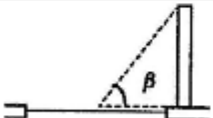
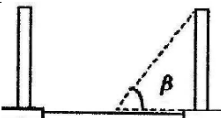
Secção vertical

α — ângulo da pala horizontal, medido a partir do ponto médio do vão envidraçado.

e o factor de sombreamento por elementos verticais, F_f , apresenta o valor $\beta = 15^\circ$ para todas as palas verticais existentes e, conforme a orientação, apresenta o valor obtido por interpolação do Quadro 16 ou Quadro V.2 do RCCTE:

- N $\Rightarrow F_f = 1$
- W $\Rightarrow F_f = 0,97$
- E $\Rightarrow F_f = 0,98$
- S $\Rightarrow F_f = 0,96$

Quadro 16. Valores do factor de sombreamento dos elementos verticais (F_f) – Situação de Verão (Quadro V.2 do RCCTE).

Posição da pala vertical	Ângulo da pala vertical	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
	0°	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	30°	1,00	0,86	0,95	0,96	0,91	0,91	0,96	1,00
	45°	1,00	0,78	0,93	0,95	0,87	0,85	0,96	1,00
	60°	1,00	0,69	0,88	0,93	0,84	0,77	0,95	1,00
	0°	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	30°	1,00	1,00	0,96	0,91	0,91	0,96	0,95	0,86
	45°	1,00	1,00	0,96	0,85	0,87	0,95	0,93	0,78
	60°	1,00	1,00	0,95	0,77	0,84	0,93	0,88	0,69
Posição da pala vertical	Ângulo da pala vertical	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
	0°	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	30°	1,00	0,86	0,90	0,91	0,82	0,91	0,90	0,86
	45°	1,00	0,78	0,92	0,84	0,74	0,84	0,92	0,78
	60°	1,00	0,69	0,86	0,75	0,67	0,75	0,86	0,69

Finalmente, o factor de obstrução, F_s , é, para cada vão envidraçado, igual a:

- Vãos envidraçados do Piso 0

$$F_s (\text{ENV1 N}) = F_h F_0 F_f = (1) (0,90) = 0,9$$

$$F_s (\text{ENV2 N}) = F_h F_0 F_f = (1) (0,90) = 0,9$$

$$F_s (\text{ENV3 E}) = F_h F_0 F_f = (1) (0,90) = 0,9$$

$$F_s (\text{ENV4 E}) = F_h F_0 F_f = (1) (0,90) = 0,9$$

$$F_s (\text{ENV5 E}) = F_h F_0 F_f = (1) (0,90) = 0,9$$

$$F_s (\text{ENV6 E}) = F_h F_0 F_f = (1) (0,90) = 0,9$$

$$F_s (\text{ENV7 E}) = F_h F_0 F_f = (1) (0,90) = 0,9$$

$$F_s (\text{ENV8 S}) = F_h F_0 F_f = (1) (0,59) (1) = 0,59$$

$$F_s (\text{ENV9 S}) = F_h F_0 F_f = (1) (0,59) (1) = 0,59$$

$$F_s (\text{ENV10 S}) = F_h F_0 F_f = (1) (0,59) (1) = 0,59$$

$$F_s (\text{ENV11 W}) = F_h F_0 F_f = (1) (0,90) = 0,9$$

$$F_s (\text{ENV12 W}) = F_h F_0 F_f = (1) (0,90) = 0,9$$

- Vãos envidraçados do piso 1

$$F_s (\text{ENV13 NW}) = F_h F_0 F_f = (1) (0,90) = 0,9$$

$$F_s (\text{ENV14 NW}) = F_h F_0 F_f = (1) (0,90) = 0,9$$

$$F_s (\text{ENV15 N}) = F_h F_0 F_f = (1) (0,90) = 0,9$$

$$F_s (\text{ENV16 N}) = F_h F_0 F_f = (1) (0,90) = 0,9$$

$$F_s (\text{ENV17 N}) = F_h F_0 F_f = (1) (0,90) = 0,9$$

$$F_s (\text{ENV18 N}) = F_h F_0 F_f = (1) (1) (1) = 1$$

$$F_s (\text{ENV19 NE}) = F_h F_0 F_f = (1) (0,90) = 0,9$$

$$F_s (\text{ENV20 NE}) = F_h F_0 F_f = (1) (0,90) = 0,9$$

$$F_s (\text{ENV21 E}) = F_h F_0 F_f = (1) (1) (0,98) = 0,98$$

$$F_s (\text{ENV22 E}) = F_h F_0 F_f = (1) (0,90) = 0,9$$

$$F_s (\text{ENV23 E}) = F_h F_0 F_f = (1) (0,90) = 0,9$$

$$F_s (\text{ENV24 E}) = F_h F_0 F_f = (1) (1) (0,98) = 0,98$$

$$F_s (\text{ENV25 E}) = F_h F_0 F_f = (1) (0,90) = 0,9$$

$$F_s (\text{ENV26 S}) = F_h F_0 F_f = (1) (1) (0,96) = 0,96$$

$$F_s (\text{ENV27 S}) = F_h F_0 F_f = (1) (0,90) = 0,90$$

$$F_s (\text{ENV28 S}) = F_h F_0 F_f = (1) (0,90) = 0,90$$

$$F_s (\text{ENV29 S}) = F_h F_0 F_f = (1) (1) (0,96) = 0,96$$

$$F_s (\text{ENV30 W}) = F_h F_0 F_f = (0,84) (0,90) = 0,765$$

$$F_s (\text{ENV31 W}) = F_h F_0 F_f = (1) (0,90) = 0,90$$

$$F_s (\text{ENV32 W}) = F_h F_0 F_f = (1) (1) (0,97) = 0,97$$

$$F_s (\text{ENV33 W}) = F_h F_0 F_f = (1) (0,90) = 0,90$$

$$F_s (\text{ENV34 W}) = F_h F_0 F_f = (1) (0,90) = 0,90$$

3.5.2.7. Cálculo de necessidades de águas quentes sanitárias (AQS)

De acordo com o RCCTE, é também necessário verificar que a moradia em estudo satisfaz as condições relativas ao consumo de águas quentes sanitárias. Assim, é necessário calcular a energia útil usada por ano para preparação de águas quentes sanitárias, N_{ac} :

$$N_{ac} = (Q_a/\eta_a - E_{solar} - E_{ren})/A_p$$

No caso presente a fracção é uma moradia unifamiliar constituída por dois pisos, tipicamente habitado por 5 pessoas. Então,

$$Q_a = \frac{(200 \times 4187 \times 45 \times 365)}{3600000} = 3820,64 \text{ kWh m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$$

A eficiência de conversão da caldeira a gás natural Roca Laura 20/20T é igual a 0,934. De acordo com o programa SolTerm, em Rio Maior, é possível obter $1772 \text{ kWh m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$ com 3 colectores solares de 1 m^2 , obrigatórios de acordo com o RCCTE. Se $E_{ren} = 0$, tem-se:

$$N_{ac} = 5,77 \text{ kWh m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$$

Por outro lado,
$$N_a = \frac{(0,081 \times 200 \times 365)}{401,90} = 14,71 \text{ kWh m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$$

Em conclusão,

$$N_{ac} = 5,77 \text{ kWh m}^{-2} \text{ ano}^{-1} \leq N_a = 14,71 \text{ kWh m}^{-2} \text{ ano}^{-1}, \text{ o que verifica o RCCTE.}$$

3.5.2.8. Cálculo de energia primária

Neste caso, tem-se:

$$\begin{aligned} N_{tc} &= 0,1 (N_{ic}/\eta_i) F_{pui} + 0,1 (N_{vc}/\eta_i) F_{puv} + N_{ac} F_{pua} = \\ &= 0,1 (74,24/1) 0,290 + 0,1 (22,28/3) 0,290 + 0 (0,29) = \\ &= 2,37 \text{ kgep m}^{-2} \text{ ano}^{-1} \end{aligned}$$

e

$$\begin{aligned} N_t &= 0,9 (0,01 N_i + 0,01 N_v + 0,15 N_a) = \\ &= 0,9 [(0,01) (72,80) + (0,01) (32) + (0,15) (14,71)] = \\ &= 2,93 \text{ kgep m}^{-2} \text{ ano}^{-1} \end{aligned}$$

Em conclusão,

$$N_{tc} = 2,37 \text{ kgep m}^{-2} \text{ ano}^{-1} \leq N_t = 2,93 \text{ kgep m}^{-2} \text{ ano}^{-1}, \text{ o que verifica o RCCTE.}$$

Os parâmetros moradia unifamiliar em estudo verificam todos os requisitos do RCCTE.

4. Eficiência dos usos da água

4.1. Enquadramento

A água é um recurso escasso e constitui uma componente fundamental do meio ambiente cuja qualidade ecológica é a base de sustentabilidade dos ecossistemas e da sobrevivência humana.

Com as crescentes pressões demográficas e aumento de consumos sabe-se que a nível mundial 75% da água dos rios e lençóis freáticos é utilizada para irrigação e têm-se excedido os limites de concentrações orgânicas e químicas desta no seu uso, ultrapassando assim a sua capacidade de depuração. Ao ultrapassar estes limites degrada-se a qualidade da água limitando os seus usos posteriores, podendo as consequências deste impacto ser irreversíveis. À medida que os poluentes vão para o mar e se diluem na água, deixam de ser nocivos. Por outro lado as diatomáceas, que são a base da cadeia alimentar, incorporam estes poluentes e vai haver uma concentração cumulativa dos poluentes à medida que se atinge o topo da cadeia alimentar – o ser humano.

Estudos realizados indicaram a tendência negativa da perda de biodiversidade já evidenciada, cada vez mais acelerada, com consequências graves e danos irreversíveis. Tal facto encoraja a Comunidade Científica Internacional à necessidade imperiosa de despertar o interesse político e simultaneamente promover uma tomada de posição pública por parte dos líderes mundiais, pois a água não é consumida ponderadamente [30].

Previsões da Organização das Nações Unidas estimam em 9 bilhões os habitantes do Planeta até metade do Século XXI. Não falta muito para a metade do Século. É previsto também que até 2025 dois terços da população mundial vivam nas cidades. A concentração intensificada de pessoas nas cidades e a urbanização acelerada tornarão mais sérios os estados de escassez de água e de inundações nas cidades. Actualmente, o número de pessoas que convivem com a falta de água potável para consumo supera 1 bilião. E a situação é a cada dia pior [31].

O objectivo do desenvolvimento e gestão da sustentabilidade da água é conhecer de forma confiável e equitativamente as necessidades de água para as actuais e futuras gerações, dimensionando sistemas integrados e adaptáveis, optimizando a eficiência dos usos da água e mantendo os esforços na preservação e restauração dos ecossistemas naturais. Reconhecer que a água é um recurso finito é essencial para que os seus usos sejam sustentáveis, apesar do aumento da eficiência das actuais e futuras tecnologias. A não ser que o crescimento populacional e de consumo diminuam, as melhorias tecnológicas podem apenas atrasar o começo das consequências negativas. [32]

Em Portugal, um dos instrumentos criados para mitigação dos efeitos negativos no recurso água foi a elaboração do Plano Nacional da Água, de acordo com o Decreto-Lei nº45/94 de 22 de Fevereiro. Este define orientações de âmbito nacional para a gestão integrada das águas através de medidas e acções definidas por linhas orientadoras. [33]

Em 2001 é elaborado o Programa Nacional Para o Uso Eficiente da Água pelo Instituto da Água para a promoção do uso eficiente da água em Portugal, especialmente nos sectores urbano, agrícola e industrial, contribuindo para minimizar os riscos de escassez hídrica e melhorar as condições ambientais nos meios hídricos. [34]

Neste documento estão definidas medidas conducentes ao uso eficiente da água consoante o seu destino.

Persiste uma questão de fundo, da captação ao destino há um total de perdas de 40% nos sistemas públicos de abastecimento de água em média, em Portugal. Uma forma de mitigar estas perdas consiste na optimização da utilização e consequente redução dos consumos com diminuição dos volumes gerados através da utilização de equipamentos e dispositivos mais eficientes e adopção de sistemas de recirculação e/ou à reutilização de águas de qualidade inferior [35, adaptado]

Uma opção de reutilização consiste na captação da água de chuva. Este “é um processo antigo e muito utilizado em regiões áridas e semi-áridas como é o caso do Nordeste Brasileiro [36], inclusive existem construções como a Cisterna Basílica, que é a maior das 60 cisternas que foram construídas em Istambul durante a época Bizantina [37], construído no século VI d.C., tendo sido utilizada até ao séc. XIV para armazenamento de água. Actualmente é local de visitas turísticas com uma forte componente mística e constitui um exemplo arqueológico “vivo”.

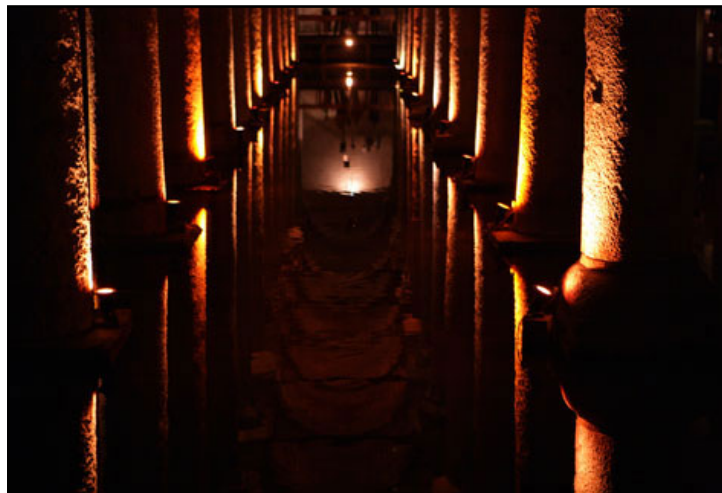


Ilustração 19. Cisterna Basílica: um tanque de água para a cidade. [38]

Aquando do armazenamento de águas pluviais devem ser caracterizados os sistemas de recolha e armazenamento, ser analisados os usos médios da água e respectivos requisitos de qualidade para justificar as opções ao caso em estudo.

4.2. Características do sistema de recolha e armazenamento de águas pluviais

O sistema de colheita de água da chuva constitui uma ótima opção como alternativa ao fornecimento de água, especialmente nos meios rurais em que se aplicam as seguintes características:

- O sistema é independente, dando assim aos consumidores acesso a água potável sem estes estarem dependentes do sistema público de abastecimento de água, que pode não ser de confiança;
- Fontes alternativas de água não fornecem quantidades suficientes de água potável;
- O preço do sistema de abastecimento público ser muito dispendioso;
- A área de captação de água da chuva, isto é, os telhados, tende a ser maior per capita em áreas rurais comparativamente com as urbanas;
- Os níveis de poluição em zonas rurais tendem a ser mais baixos quando comparados aos de vilas e cidades, tornando a água mais propícia para consumo humano sem necessidade de pré-tratamento.

Outros benefícios do sistema de captação de água da chuva incluem:

- Redução da erosão dos solos (especialmente em áreas de encosta);
- Requer uma pequena quantidade de inputs de energia em comparação ao sistema de abastecimento público; [39]

No caso da utilização de água da chuva, geralmente é feita a captação da precipitação que incide sobre uma superfície impermeável (normalmente o telhado) e o armazenamento é feito em reservatórios ou cisternas. Esse armazenamento traz vantagens, não somente económicas ao usuário, mas também sob o ponto de vista qualidade ambiental e de

controlo de enchentes urbanas, uma vez que essa água não é mais lançada na rede de drenagem pluvial. [40]

A água da superfície de recolha é conduzida por caleiras, passando por um filtro, até ao reservatório de armazenamento, por gravidade. O filtro remove folhas e areias, devendo permitir uma frequência de limpeza razoável e qualidade da água satisfatória. Das partículas não filtradas, as de maiores dimensões depositam-se no fundo do tanque e as menores flutuam à superfície da linha de água. [41, adaptado]

O reservatório deve ser subterrâneo de modo a armazenar a água no escuro, a uma temperatura menor que 18°C. A água armazenada deve ser rica em oxigénio de modo a não provocar maus cheiros e a alimentação da água deverá ser feita na parte superior do reservatório de modo a não perturbar os sedimentos que se acumulam no fundo. Deve ainda possuir uma saída de emergência para descarregar quando houver sobrecarga. A bomba pode ser submersível ou de sucção mas deve escoar a água através de um sifão com uma bóia de modo a garantir a retirada de água a meio da coluna de água. O controlo da bomba pode ser apenas com um medidor de pressão ou possuir ainda um regulador de caudal e um sensor de nível mínimo para evitar o funcionamento em seco. [41 e 42]

Para garantir o abastecimento contínuo é necessário adicionar água da rede de abastecimento pública quando o volume de água no tanque de armazenamento atinge 10% da sua capacidade. Se o sistema possuir um tanque de distribuição – sistema indirecto por gravidade - a adição da água da rede deve ser efectuada nesse local com recurso a dispositivos que garantam a não contaminação da água da rede de abastecimento (válvulas de segurança para evitar escoamento em contracorrente). Se não houver tanque de distribuição, a entrada de água da rede de abastecimento tem de ser efectuada no tanque de armazenamento, o que torna mais complicado o sistema de controlo. Assim, a existência ou não do tanque de armazenamento deve ser escolhido consoante a utilização a que se destina. [41 e 42]

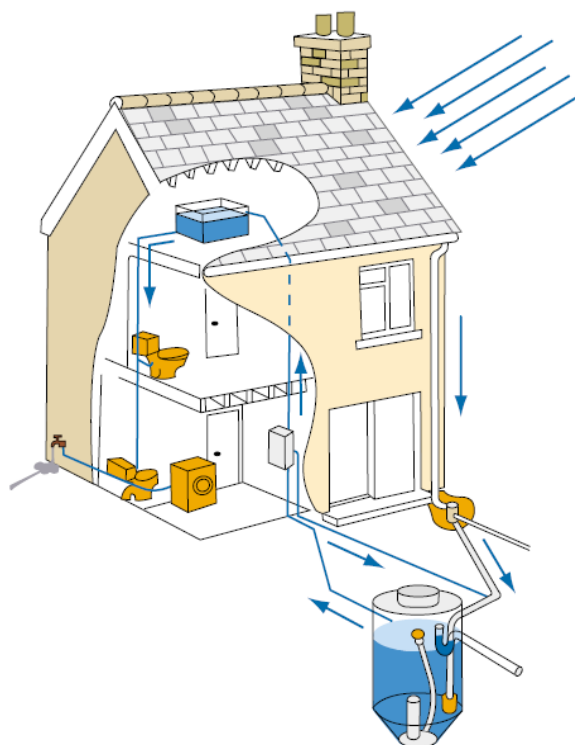


Ilustração 20. Esquema dum sistema genérico de recolha, armazenamento e uso de água da chuva numa habitação. [43]

4.2.1. Superfícies de recolha

A superfície de recolha pode ser o telhado, áreas pavimentadas, a própria superfície do solo ou o terraço, sendo mais eficiente o telhado pois ocorre menor evaporação e menos perdas por acção do vento. O tipo de material da superfície de recolha irá influenciar a qualidade da água, devendo ser evitadas tintas e coberturas ou telhados cuja composição inclua cádmio, chumbo ou cobre. A primeira água que cai no telhado, lavando-o, apresenta um grau de contaminação bastante elevado e, por isso, é aconselhável o desprezo desta primeira água. [44]

Os materiais que devem ser utilizados são os não tóxicos, lisos e densos de forma a evitar a acumulação de matéria orgânica e a formação de pequenas poças de água. O alumínio é considerado o melhor material para a recolha de água da chuva para fins potáveis pois tem uma grande eficiência de recolha e sofre pouca corrosão comparativamente a outros materiais. Embora este material adicione uma quantidade vestigial de alumínio na água captada não põe em risco a saúde humana nem altera o sabor da água.

Tabela 2. Tipo de contaminação derivada do material constituinte do telhado. [41 e 45]

Tipo de material	Contaminante
Alcatrão e telhas de madeira	Cobre
Asfalto e telhas de madeira	Poeiras, fuligem, areias
Aço galvanizado	Cádmio, chumbo
Madeira	Lixíviados de materiais tóxicos

. Para além da contaminação pelo material constituinte do telhado pode ainda ocorrer degradação devida à acumulação de matéria orgânica como folhas, ramos de árvores, dejectos de gatos, roedores e pássaros e outros sólidos [41 e 45]. Neste sentido, não deverão haver árvores demasiado próximas do telhado nem estruturas que possam atrair pássaros.

4.2.2. Caleiras

Normalmente utilizam-se caleiras para o transporte das águas pluviais da superfície de recolha até ao reservatório devendo também ter em consideração o tipo de material utilizado na sua construção. Comummente é utilizado PVC, vinil, tubos, aço galvanizado e alumínio sem soldadura com formato semi-circular. É necessário haver acesso à superfície de recolha e que as caleiras não sejam fechadas permitindo uma manutenção regular para evitar a obstrução devido à acumulação de folhas e areias.

O custo deste equipamento é uma pequena fracção do custo total do sistema (inferior a 20 %) mas tem uma grande influência na eficiência do sistema de recolha de água da chuva. A escolha do tipo e da configuração das caleiras deve recair sobre as que minimizam o custo do sistema por litro de água captada. Existem diversas variáveis que afectam o seu desempenho, entre as quais, a forma, inclinação, largura e posicionamento relativamente à extremidade do telhado. A durabilidade e a facilidade de instalação são factores também importantes a ter em conta na escolha deste equipamento [41 e 46].

As formas e trajectórias dependem da função das caleiras, assim na recolha de água do telhado estas devem ser abertas e planas estando situadas na extremidade do telhado e no transporte até ao reservatório devem ser fechadas e circulares com a máxima inclinação possível.

Relativamente ao escoamento, este varia na razão directa da quantidade de água transportada não sendo possível de dimensionar analiticamente as caleiras através do caudal, contudo se se considerar apenas a área de colecta é possível dimensioná-las. Com o aumento do declive da caleira aumenta o escoamento permitindo usar caleiras mais pequenas, assim como a diminuição da queda média de água que passa para a caleira permite utilizar uma caleira mais estreita.

Face à variação do declive da caleira é desejável a minimização da queda para que a eficiência de intercepção seja maior sendo recomendado um declive de 0,5 % nos dois primeiros terços do comprimento da caleira e de 1 % no restante terço. Embora fosse mais eficiente a utilização de um declive na primeira metade de cerca de um quarto do da secção final, neste caso 1 %, isto implicava um posicionamento muito preciso da caleira. É ainda recomendado que a forma das caleiras seja trapezoidal ou semicircular e que a extremidade interior da caleira de recolha se encontre a 20 mm do interior da orla do telhado. [41 e 46]

4.2.3. Equipamento para remover detritos

A fim de evitar a acumulação de folhas, areias e outros detritos é aconselhável o uso de redes na caleira havendo o cuidado de as limpar regularmente de modo a evitar a sua obstrução. Também se podem aplicar filtros, com rede com uma malha da ordem dos 6,35 mm, na caleira de recolha, à entrada do tubo de queda, no próprio tubo de queda no solo e à entrada do reservatório, contudo tal apenas se justifica caso existam árvores adjacentes à área de recolha.

À entrada dos tubos de queda é aconselhável o uso de filtros em forma de arco, uma vez que permitem o fluxo de água mesmo que se acumulem folhas nos flancos, ou então filtros do tipo funil em PVC ou aço galvanizado com uma rede de aço inoxidável ou de bronze encaixado no tubo de queda a uma cota igual ou superior ao nível máximo de água no reservatório.

Existem vários tipos de filtros que devem ser escolhidos e colocados conforme o tipo de sistema de recolha e armazenamento de água.

Os mais simples e baratos são os filtros de areia que, sendo filtros mais finos, permitem a remoção de sedimentos de menores dimensões bem como bactérias. Estes podem transbordar quando ocorre precipitação muito intensa e por isso é necessário que haja um tubo para a descarga da água da chuva em excesso. Para além disso a limpeza deste tipo de filtro deve ser regular pois a acumulação de sólidos pode provocar a colmatação deste e a saída do seu enchimento pelo tubo de descarga de emergência. Existem ainda filtros com uma rede de malha fina (tipicamente de 0,4 mm) que possuem um sistema de auto-lavagem para facilitar a sua manutenção. Este mecanismo pode passar pela utilização da primeira chuva para arrastar as areias e folhas ou a lavagem em contracorrente com 10 % da água recolhida. [47]

Os filtros separadores arrastam as folhas e as areias com água não havendo necessidade de limpeza. Na tabela 3 apresentam-se as principais vantagens e desvantagens do uso destes consoante a localização ao longo do sistema de recolha e armazenamento de águas pluviais.

Tabela 3. Comparação entre a localização do filtro/separador de folhas. [41 e 47]

Localização	Vantagens	Desvantagens
Caleira de recolha	<ul style="list-style-type: none"> • Previne a acumulação de folhas na caleira - Retira o risco de incêndio - Reduz o crescimento de mosquitos - Evita os trabalhos de limpeza 	<ul style="list-style-type: none"> • Pode ser caro devido à grande área a cobrir • Dificuldades na limpeza: <ul style="list-style-type: none"> - Aumenta a acumulação de folhas devido a ficarem retidas na rede - Mais difícil de limpar o que não é retido na rede
À entrada do tubo de queda	<ul style="list-style-type: none"> • A localização central minimiza a área do filtro • Pode substituir a conexão da caleira ao tubo de queda • Pode ter auto-limpeza 	<ul style="list-style-type: none"> • Difícil de limpar devido à altura • Se for simplesmente colocado na conexão entre a caleira e o tubo de queda pode bloquear tudo
No tubo de queda	<ul style="list-style-type: none"> • Aumenta a área do filtro devido ao comprimento de tubo que resta • Ocupa pouco espaço 	<ul style="list-style-type: none"> • Usa mais de 10 % da água para a autolimpeza • Requer um design mais complexo • Difícil acesso para limpeza • Bloqueio não é óbvio
Em linha (subterrâneo)	<ul style="list-style-type: none"> • Reduz os problemas de montagem • Acesso fácil para limpeza 	<ul style="list-style-type: none"> • Apenas serve para tanque subterrâneos • Se não for bem construído pode haver infiltração de água pluvial no tanque
À entrada do reservatório	<ul style="list-style-type: none"> • Simples e instalação barata • Muito visível 	<ul style="list-style-type: none"> • Pode ocorrer contaminação à entrada do tanque • Reduz a opção de uma segunda filtração

4.2.4. Descarregadores de primeira chuva

A descarga da água da primeira chuva para o esgoto constitui um dispositivo complementar que evita a contaminação por detritos e contaminantes biológicos/químicos que se encontram nas superfícies de recolha (telhados e calhas) ou mesmo no ar ambiente nos períodos de chuva que arrasta, assim, os contaminantes presentes no mesmo.

Existem diversos estudos que determinaram que o volume inicial a ser retirado, para que seja seguro beber a água, varia entre 0,5 mm a 2 mm de chuva. [41]

Existem filtros com um sistema de auto-lavagem, que podem passar pela utilização da água das primeiras chuvas que arrasta todas estas substâncias ou então a lavagem em contracorrente com 10% da água recolhida, mantendo, assim, elementos indesejáveis fora do reservatório de armazenamento da água da chuva recolhida. [48] Os descarregadores de primeira chuva mais comuns são os recipientes de volume fixo e as válvulas medidoras de volume. Estes podem conter filtros ou caixas de crivos.

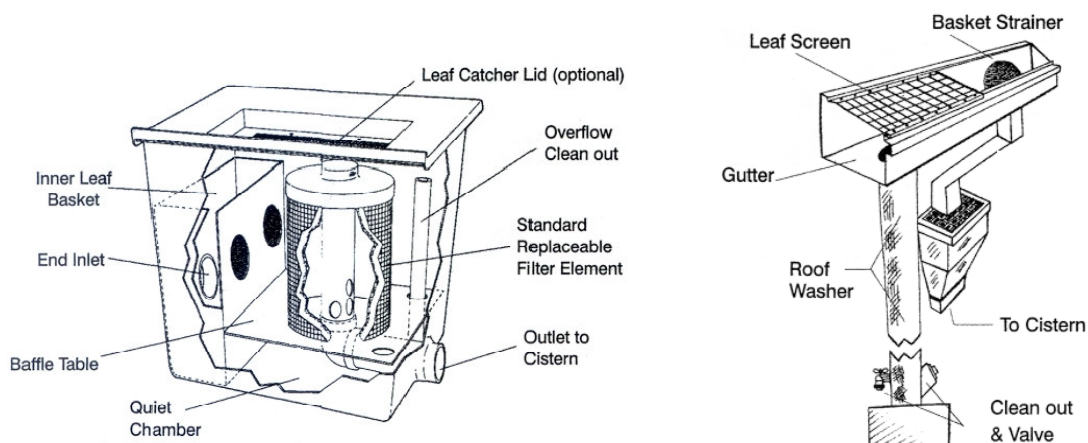


Ilustração 21. Descarregador com sistema de filtragem (esquerda), descarregador da água da primeira chuva através duma válvula (direita). [45]

O funcionamento dos recipientes de volume fixo inicia-se com as primeiras gotas de chuva, estes enchem até ao nível máximo e toda a água que chove, após estarem cheios, é encaminhada para o reservatório. O correcto dimensionamento deste tipo de descarregadores permite o armazenamento sem contaminantes ou detritos, contudo nas ocasiões de fraca pluviosidade o volume colectado pode não permitir a passagem até ao reservatório, ficando retido nos recipientes. Quando tal acontece, na chuvada seguinte é possível que a recolha seja feita com contaminantes devido ao volume dos recipientes que já estava ocupado, sendo assim reduzida a eficiência deste descarregador.

As válvulas medidoras de volume, ao contrário, do dispositivo anterior, são sensíveis à taxa de fluxo da água da chuva. Quando essa taxa alcança um mínimo pré-programado, um corpo oco (por exemplo, uma esfera) que se encontra dentro do aparelho, suspenso por uma mola começa a encher lentamente com água. Quando a esfera fica completamente cheia, o peso adicional fará com que feche a saída da válvula e o fluxo de água cessa. A água que chegar de seguida, será encaminhada para o reservatório de armazenamento. [Joana 35] Este descarregador não reage a fraca pluviosidade, assim apresenta sempre o mesmo grau de eficiência evitando a contaminação da água recolhida.

4.2.5. Tanque de armazenamento

O reservatório pode ser subterrâneo ou térreo e deve ser apropriado para armazenar o volume pretendido sem introduzir degradação na água colectada. A instalação térrea evita custos associados à escavação e certas questões de manutenção enquanto a subterrânea beneficia de temperaturas amenas no Verão e no Inverno, de modo a manter a água a uma temperatura inferior a 18°C. O reservatório deve ser alimentado pelo topo para que a entrada de água não perturbe os sedimentos depositados no fundo. Na Tabela 4 estão definidas estas e outras características consoante a localização do reservatório.

Para uma maior eficiência o reservatório deve localizar-se o mais perto possível dos pontos de recolha e utilização da água e ao nível mais alto possível para permitir o funcionamento por gravidade e/ou diminuir o esforço do sistema de bombagem. Se estiver localizado na sombra da casa ou de árvores não há aumento de temperatura pela incidência directa de sol, evitando o crescimento de algas e bactérias. [45]

Tabela 4. Comparação entre a localização do reservatório. [41 e 47]

Localização	Vantagens	Desvantagens
Térreo	<ul style="list-style-type: none"> Fácil inspecção de fissuras e fugas A retirada da água pode ser por gravidade através de uma torneira Pode ser colocado a um nível mais superior que o solo para aumentar a pressão da água 	<ul style="list-style-type: none"> Requer espaço Geralmente mais caro Danificado mais facilmente Falha pode ser perigosa
Subterrâneo	<ul style="list-style-type: none"> O solo circundante serve de suporte o que permite usar uma parede mais fina diminuindo assim os custos Requer pouco ou nenhum espaço de acima do solo Discreto Água é mais fresca 	<ul style="list-style-type: none"> A extracção da água é mais problemática necessitando de uma bomba As falhas e fugas são difíceis de detectar Pode ocorrer contaminação por infiltração A estrutura pode ser danificada por raízes de árvores ou pelo aumento do nível freático de água Se ficar destapado pode haver quedas de crianças Veículos pesados ao passarem por cima da cisterna podem causar danos Não é fácil de vazar nem limpar



O posicionamento também deve considerar a possibilidade de adicionar água ao reservatório a partir duma fonte auxiliar, como um camião cisterna de água, caso o abastecimento seja ameaçado por condições de escassez de pluviosidade ou deterioração da qualidade pretendida. A localização do reservatório deve ficar próxima duma estrada permitindo o acesso dum camião cisterna e posicionado de modo a evitar o percurso de linhas de água, sistemas de esgotos, relvados e jardins. [45, adaptado]

Existe um conjunto de requisitos mínimos para a escolha do reservatório para armazenar a água da chuva recolhida:

- Reservatórios devem ser fechados para não ocorrer a contaminação com folhas, areias e microbiológicas;
- O material constituinte do reservatório não deve introduzir contaminantes;
- Não deve existir substâncias remanescentes de armazenamentos anteriores, nomeadamente, do armazenamento de óleo ou químicos;
- O reservatório não deve permitir a entrada de luz para reduzir o crescimento de algas e da actividade biológica subsequente e por isso não é recomendado o uso de tanques de fibra de vidro nem de plástico translúcido;
- Todas as aberturas devem estar protegidas para evitar a entrada de mosquitos;
- A torneira do reservatório deve ser protegida de animais que possam beber daí;
- O nível mínimo da água não deve ser muito baixo para não recolher os detritos acumulados no fundo;
- Deve existir um tubo de descarga para quando atingir a sua capacidade máxima;
- Fácil acesso para permitir a sua limpeza. [41]

Reservatórios de diferentes materiais apresentam características de desempenho distintas, por exemplo, quando construídos com betão ou plástico permitem obter uma melhor qualidade da água do que construídos com outro tipo de materiais. O material escolhido não deve introduzir contaminantes na água e influencia o custo, tamanho e outras características, como é apresentado na Tabela 5:

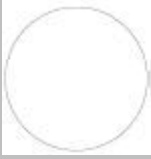


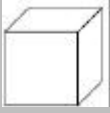
Tabela 5. Comparação entre reservatórios de diferentes materiais. [41 e 47]

Material	Custo [€/L]	Tamanho [L]	Observações
Fibra de vidro 	0,10 – 0,41	1 893 – 75 708	<ul style="list-style-type: none"> • Pode durar décadas sem sofrer degradação • Fácil de reparar • Pode ser pintado
Betão 	0,06 – 0,26	37 854	<ul style="list-style-type: none"> • Risco de fugas e fissuras mas são facilmente reparados • Fixo • Pode afectar o cheiro e o sabor da água mas pode ser revestido com plástico
Metal 	0,10 – 0,31	568 – 9 464	<ul style="list-style-type: none"> • Leve e fácil de transportar • Ferrugem e lixiviação do zinco pode ser um problema mas pode ser resolvido com o revestimento de um material adequado
Polipropileno 	0,07 – 0,21	1 135 – 37 854	<ul style="list-style-type: none"> • Duradoiro e leve • Tanques pretos podem aquecer a água se estiverem exposto à luz solar • Tanques claros/translúcidos fomentam o crescimento de algas
Madeira 	0,41	2 650 – 189 270	<ul style="list-style-type: none"> • Esteticamente agradáveis • Preferidos para áreas públicas ou bairros residenciais • Caro
Polietileno	0,15 – 0,35	1 135 – 18 927	<ul style="list-style-type: none"> • Degradado pelos raios UV daí que seja necessário pintá-lo
Barril	20,77	208 - 379	<ul style="list-style-type: none"> • Evitar barris que contenham materiais tóxicos

Quanto maior for o reservatório menor é o custo de cada litro de água armazenado. [47]

Outro factor importante é a forma do reservatório pois influencia o espaço ocupado e o custo associado. Um reservatório que ocupe uma área de terreno menor é mais vantajoso. A Tabela 6 apresenta as características das formas mais utilizadas em reservatórios:

Tabela 6. Comparação entre várias formas de reservatórios. [41 e 47]

Forma	Acréscimo de material	Desvantagens
Esfera 	1,0	<ul style="list-style-type: none"> Só pode ser instalado se for subterrâneo ou parcialmente subterrâneo mas esta forma pode ser aproximada com duas superfícies curvas Boas características de pressão com pouca curvatura As estruturas curvas necessitam de uma construção exímia para que sejam seguras Apenas apropriado para materiais moldáveis, tais como, o cimento e argila ou materiais flexíveis como folhas de tecido e plástico
Cilindro 	1,2	<ul style="list-style-type: none"> É a forma mais utilizada para reservatórios A pressão do arco é aceitável mas uma junta fixa entre a parede e a base provoca curvatura e pressões próximo da junta Pode ser utilizado quer para materiais moldáveis quer para materiais que podem ser curvados como uma folha metálica
Meia Esfera 	1,3	<ul style="list-style-type: none"> Forma muito utilizada para reservatórios subterrâneos pois o fosso é fácil de escavar e crê-se que poupa material Requer uma cobertura larga com posição livre É fácil de construir um tanque subterrâneo com esta forma com materiais moldáveis
Cubo 	1,4	<ul style="list-style-type: none"> Pressões de curvatura são altas nos cantos Muito simples de construir Podem ser usados diversos materiais incluindo tijolos

Para a limpeza do reservatório pode-se adicionar lixívia ao resto de água no fundo e esfregar, drenando-o e lavando com água antes de voltar a usar. Este procedimento deve ser efectuado anualmente de modo a garantir uma boa qualidade da água.

4.2.6. Tanques pressurizados e bombas

A maioria das habitações possui dispositivos (máquina de lavar roupa e louça, esquentadores) que necessitam de uma pressão entre 138 a 207 kPa para que funcionem apropriadamente. Até mesmo alguns sistemas de irrigação gota a gota necessitam de uma pressão de 138 kPa para que garantam uma rega eficaz. A água adquire um acréscimo de pressão de 7 kPa por cada 305 mm de ascensão. Assim, para que o escoamento por gravidade se desse à pressão de 207 kPa num tubo de diâmetro de 25 mm, seria necessário colocar o reservatório a uma cota superior a 27 m. Uma vez que esta elevação não é prática nem desejável, existem duas soluções para garantir o escoamento com a pressão apropriada:

- bomba, tanque pressurizado, interruptor de pressão e válvula de controlo;
- uma bomba a pedido.

As bombas devem ser colocadas à mesma cota e o mais próximo possível do reservatório para diminuir a força exercida e aumentar a eficiência e o tempo de vida da bomba. O diâmetro da tubagem de abastecimento à bomba também afecta o desempenho da bomba pelo que deve possuir um diâmetro mínimo de 25 mm (maior se possível) para diminuir a tensão na bomba. A bomba extrai a água do reservatório, pressuriza-a e armazena-a sob pressão até que seja utilizada. A configuração típica de um sistema deste tipo é uma bomba de potência entre 180 a 750 W (de jacto ou centrífuga multiestágios), uma válvula de controlo de sentido único entre o tanque de armazenamento e a bomba para impedir o retorno da água pressurizada para o reservatório, um interruptor de pressão para regular o funcionamento do tanque sob pressão e o tanque sob pressão (capacidade típica de 150 litros) que mantém a pressão durante todo o sistema. Quando o tanque de pressão atinge um nível pré-definido, o interruptor de pressão corta a energia à bomba e sempre que houver utilização desta água detecta a perda de pressão no tanque e activa a bomba para aspirar mais água do reservatório. A existência de um filtro que flutue no tanque de armazenamento permite que a extracção da água seja efectuada entre 25 a 41 cm abaixo da linha de água, onde a água é mais limpa e mais fresca. Este dispositivo possui um filtro de 60 μ m e está conectado à bomba de sucção externa através de uma mangueira flexível. [49] O filtro deve ser regularmente monitorizado para não criar condições de crescimento bacteriológico quando obstruído.

As novas bombas a pedido eliminam a necessidade de um tanque de pressão pois combinam uma bomba, um motor, um controlador, uma válvula de controlo e função do tanque de pressão numa única unidade. São auto-ferrantes e possuem uma válvula de controlo incorporada na entrada de água. Ao contrário das bombas convencionais, as bombas a pedido são activadas pelo consumo de água o que elimina a necessidade de um tanque de pressão baixando assim o custo e o espaço ocupado pelo sistema. [49]

4.2.7. Qualidade e tratamento da água

A qualidade das águas pluviais é influenciada por diversos factores, como a proximidade a indústrias que emitam poluentes atmosféricos, o grau de dispersão que estes sofrem, as condições durante a formação da precipitação, entre outros, não havendo gamas recomendadas legisladas. Os principais parâmetros que afectam a qualidade da água recolhida são:

- (1) - pH;
 - (2) - Matéria orgânica;
 - (3) - Partículas;
 - (4) - Compostos químicos;
 - (5) - Bactérias e vírus;
 - (6) - Protozoários;
 - (7) - Chumbo.
- (1) Na ausência de qualquer contaminante atmosférico, a água precipitada pela chuva é levemente ácida, sendo de esperar um pH de aproximadamente 5,2 a 20 °C, valor inferior ao que resultaria se a solução ocorresse em água destilada (pH = 5,6) devido à presença de outros compostos na atmosfera terrestre não poluída. [49] Na natureza, chuva com pH ligeiramente inferior a 5 cai sem causar grandes estragos pois as rochas, solo e vegetação actuam como tampão neutralizando a acidez. [50] Chuva ácida recolhida em sistemas de recolha de água da chuva não beneficia do efeito tampão natural da terra, havendo relatos de água captada com pH abaixo de 4 em áreas perto de indústrias. [51]
- (2) A presença de matéria orgânica, como matéria vegetal e animal, sedimentos acumulados, no tanque fornece nutrientes propiciando o crescimento microbiológico e induzindo alterações no pH, cor, sabor e cheiro da água. Deve ser feita a manutenção periódica dos tanques de armazenamento para remoção de sedimentos acumulados no fundo que também constituem matéria orgânica.
- (3) Partículas finas emitidas em combustões industriais e residenciais, por veículos, incêndios ou trazidas pelo vento podem ser incorporadas na água da chuva aquando do seu percurso até à superfície de recolha.
- (4) Em áreas agrícolas a água da chuva pode ter concentrações mais elevadas de nitratos devido aos fertilizantes, podem ainda existir, na atmosfera, resíduos da utilização de pesticidas emitidos durante as colheitas. Em áreas industrializadas, a chuva pode ter valores ligeiramente mais altos de sólidos suspensos e turbidez devido aos sólidos em suspensão na atmosfera. [48]
- (5) Existem várias doenças provocadas por bactérias associadas à ingestão da água contaminada. As contaminações podem ser devidas a dejectos e urina de animais infectados na superfície de recolha da água, compostos orgânicos transportados pelo vento que contenham dejectos e urina de animais contaminados. A maioria dos patogénicos pode ser eliminada através do uso de cloro, mas a qualidade da água armazenada deve ser analisada periodicamente se for para consumo humano.
- (6) Alguns protozoários patogénicos produzem formas de resistência (cistos) que permitem ao organismo sobreviver longos períodos em situações adversas e até mesmo à desinfecção com cloro. Contudo estes só são prejudiciais à saúde humana quando ingeridos.
- (7) Além de constituir um problema em casas antigas, o chumbo pode provir da solda com chumbo, fazer parte dos compostos de tintas, caleiras entre outros materiais

utilizados desde a recolha ao consumo da água da chuva, devendo estes ser evitados. O chumbo sofre lixiviação quando em contacto com água ácida, quanto maior a acidez da água mais grave a lixiviação do chumbo.

O destino da água recolhida é que determina se esta necessita de tratamento e qual o tratamento adequado. Quando a água se destina a irrigação com mangueira é apenas indispensável uma rede que separe as folhas e um filtro que garanta a qualidade da água antes de esta ser armazenada. Se a irrigação for efectuada recorrendo a um sistema automático, deve ser também incorporado um filtro de malha fina. [45]

Água que é utilizada nas máquinas de lavar roupa e louça pode necessitar dum tratamento para ajustamento de pH ou ser filtrada para eliminação de sedimentos e minerais. Em sistemas para usos potáveis é necessário eliminar o risco de contaminação de microorganismos patogénicos através do acréscimo do tratamento por desinfecção e a qualidade da água deverá ser testada por um laboratório acreditado para tal. A Tabela 7 expõe as comparações entre custos, manutenção, eficiência e outras observações dos tratamentos de desinfecção disponíveis.

Tabela 7. Comparação entre os tratamentos de desinfecção da água. [41 e 47]

Material	Custo [€]	Manutenção	Eficiência	Observações
Filtração Cartucho	16 – 47	Filtros devem ser substituídos regularmente	Remove partículas > 3 µm	A desinfecção continua a ser recomendada
Filtração Osmose Inversa	313 – 1 173	Substituir o filtro quando colmatar (depende da turbidez)	Remove partículas > 0,001µm	A desinfecção continua a ser recomendada
Desinfecção Luz Ultravioleta	274 – 782; 63 (trocar a lâmpada)	Substituir a lâmpada UV em cada 10 000 horas ou 14 meses A protecção deve ser limpa regularmente lâmpada UV	Desinfecção da água filtrada < 1,00 Coliformes Totais/100 mL	A água deve ser filtrada previamente para maximizar a eficiência
Desinfecção Ozonólize	548 – 2 034	Eficiência deve ser monitorizada frequentemente ou possuir um analisador em linha (acrécimo de 940 € ou mais)	Menor eficiência quanto maior for a turbidez Pode ser aperfeiçoado com pré -filtração	Requer uma bomba para fazer circular as moléculas de ozono
Desinfecção Cloro	0,78/mês (manual) ou 469 – 2 348 (sistema de dosagem automático)	Dose aplicada manualmente uma vez por mês	Turbidez alta requer maior dose ou maior tempo de contacto mas este efeito pode ser mitigado com pré -filtração	Sobredosagem pode provocar problemas para a saúde humana

Todos os tipos de desinfecção requerem filtração e cada tratamento requer manutenção adequada, sendo a desinfecção por Ozonólise o tratamento mais dispendioso segundo a Tabela 7.

A Ilustração 10 exemplifica uma situação genérica duma habitação em que é captada a água da chuva e algumas das situações de contaminação referidas anteriormente que podem ocorrer e se devem prevenir. Havendo consciência, planeamento e boas práticas de gestão na colecta de água, o fornecimento de água

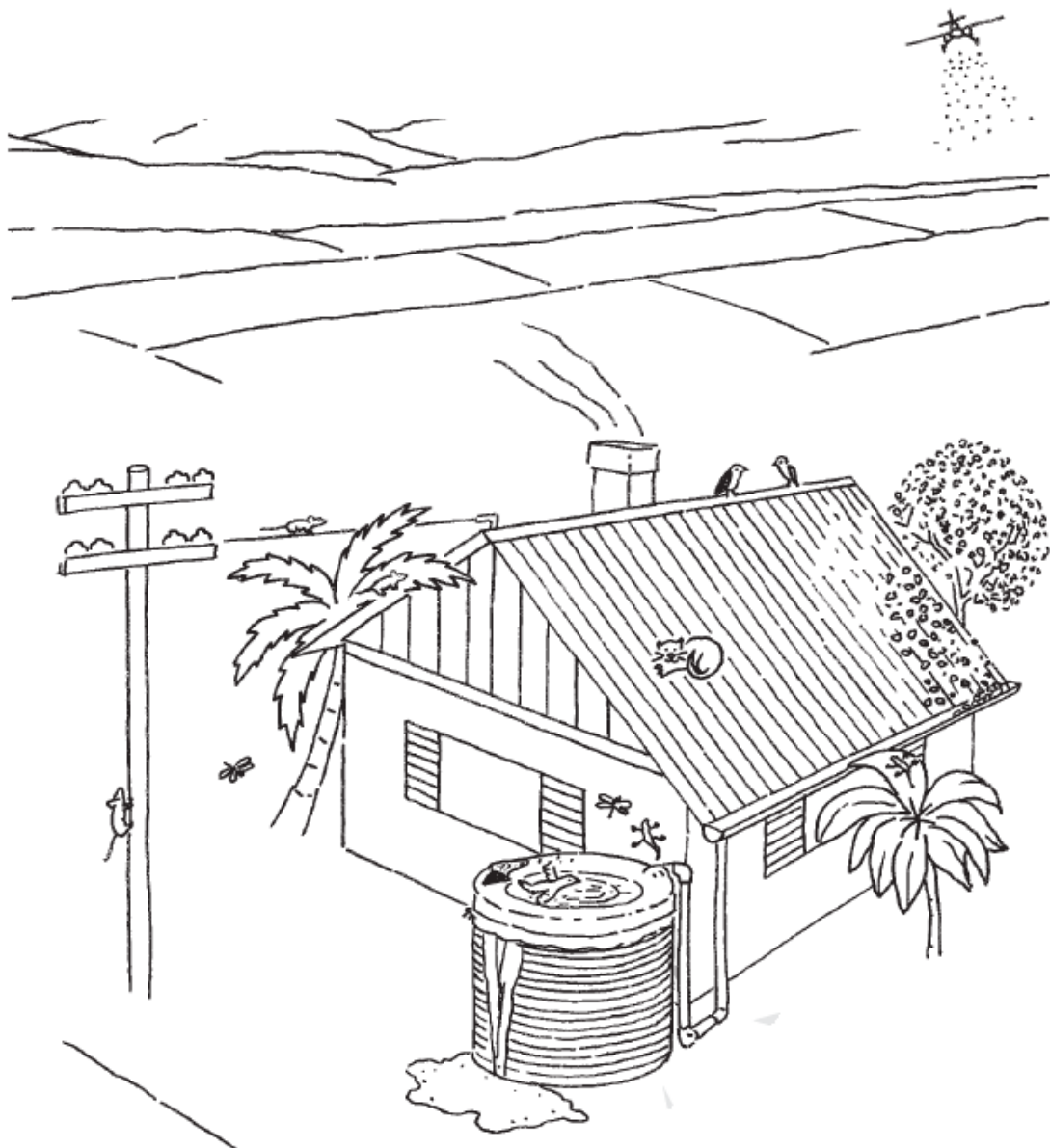


Ilustração 22. Algumas das contaminações que se devem considerar na recolha de água da chuva.
[51]

4.3. Caso de estudo – métodos utilizados

A viabilidade do sistema depende basicamente de três factores: precipitação, área da superfície de recolha e volume diário consumido. O reservatório de água da chuva, por ser o componente mais dispendioso do sistema, deve ser projectado de acordo com as necessidades do usuário e com a disponibilidade pluviométrica local para dimensioná-lo correctamente, sem inviabilizar economicamente o sistema.

Para caso de estudo foram caracterizados os usos médios e identificados os requisitos de qualidade para cada função da água, efectuado o levantamento de informação sobre a precipitação média diária na área de implementação do edifício para o cálculo da precipitação útil média anual e determinação da viabilidade da auto-sustentabilidade a nível de águas. De seguida é calculado o dimensionamento do sistema de recolha e armazenamento de água da chuva.

4.3.1. Caracterização dos usos médios da água

A água é um recurso limitado que é necessário conservar, proteger e gerir com preocupações ambientais. Garantir um uso eficiente, racional e parcimonioso deste recurso passa pela identificação dos requisitos de qualidade para cada utilização.

Numa habitação existem diversos usos das águas interiores e exteriores, consoante a existência ou não de espaços exteriores, mas nem todas as tarefas exigem a mesma qualidade, assim ao identificar os requisitos de cada utilização é possível avaliar a possibilidade de reutilização da água, cujas vantagens são:

- redução da factura de água dos consumidores sem custos adicionais relevantes;
- redução da quantidade de água captada e do consumo de energia;
- recirculação benéfica de nutrientes quando usada para irrigação;
- benefícios ambientais pelo impacto positivo;
- redução de descargas de efluentes e consequente poluição dos meios hídricos;
- a redução de consumo no sistema público de abastecimento minimiza as pressões e consequentemente as perdas.

Um inquérito aos hábitos de utilização e consumo de água numa habitação, efectuado pelo LNEC, obteve, entre outros resultados, que a captação doméstica média se situa na gama de 50 a 214 litros/hab./dia, com um valor médio de 132 litros/hab./dia e verifica-se que os banhos (de chuveiro e de banheira) surgem como a parcela mais importante do consumo total (39%), seguidos dos consumos associados a torneiras interiores (31%) e à descarga de autoclismos (18%). Por fim, como consumos menos relevantes, surgem os correspondentes às parcelas de lavagem de roupa (9%) e de loiça (3%) com máquinas. [54, adaptado]

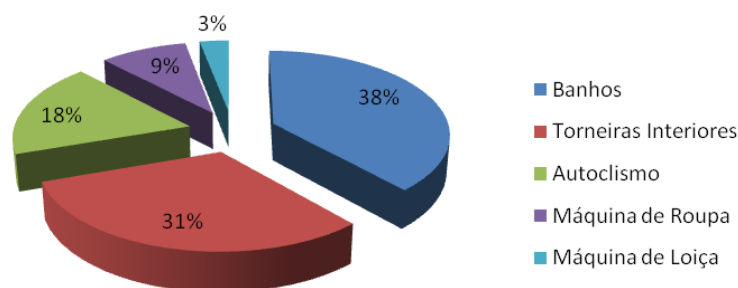


Gráfico 1. Percentagem dos usos diários de águas interiores. [54]

Os usos exteriores constituem um volume considerável na percentagem de usos quando se considera uma habitação em meio rural, com quintal e/ou jardim, como o caso de estudo. Além de constituírem uma grande percentagem dos usos totais, os usos exteriores são associados a actividades de operação e manutenção (lavagens de pavimentos e veículos, regas de jardins/hortas).

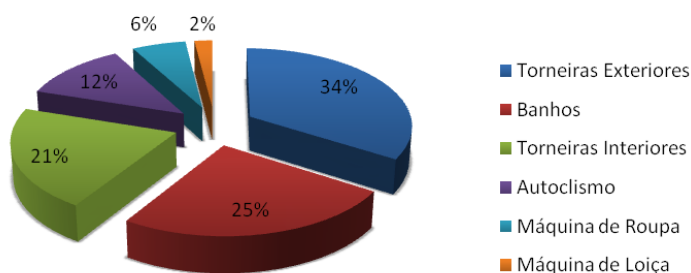


Gráfico 2. Percentagem dos usos diários de águas interiores e exteriores. [54]

De acordo com o Gráfico 2 os consumos exteriores restringem-se às torneiras exteriores que constituem 34% do consumo total. Considerando um valor de captação doméstica ligeiramente acima do valor médio, de 150 litros/hab./dia, sabendo que o consumo associado a banhos representa 25% da percentagem de usos totais interiores e exteriores, então o consumo para banhos é de 37,4 litros/hab./dia. De acordo com o DL 80/2006 “O consumo de referência de água quente sanitária para utilização em edifícios de habitação é de 40L de água quente a 60°C por pessoa e por dia”, logo tem que se considerar outro valor de captação. Utilizando um valor de captação de 200 litros/hab./dia, obtém-se um consumo de 50 litros/hab./dia para banhos.

Os volumes de usos da casa de banho também devem ser caracterizados devido às diferenças nos requisitos de qualidade exigidos:

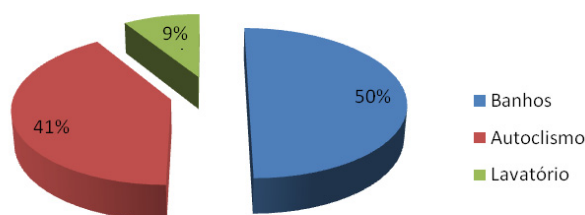


Gráfico 3. Percentagem de usos médios diários na casa de banho. [53]

De acordo com o Gráfico 3, sabendo que se consomem 50 litros/hab./dia para banhos, então os consumos para o lavatório e autoclismo são, respectivamente, de 9 litros/hab./dia e de 41 litros/hab./dia.

4.3.2. Identificação dos requisitos de qualidade para cada função da água

Os requisitos de uso e qualidade da água em cada função a que é aplicada são essenciais para a proposta de reutilização de água da chuva. Procede-se à avaliação dos requisitos de qualidade da água usada na casa de banho por esta ser a maior parcela de consumo.

Avaliação dos requisitos de qualidade da água:

- Torneiras interiores => qualidade da água para consumo humano (DL 236/98 – Anexo VI);
- Banhos (25 % do consumo total) : Tomar banho => equivalente a qualidade balnear (DL 236/98 – Anexo XV);
- Lavatório: higiene pessoal => equivalente a qualidade alimentar (DL 243/2001);
- Autoclismo (12 % do consumo total): Descarga para a sanita => qualidade mínima operacional e de segurança;
- Exterior (34% do consumo total) => equivalente a qualidade para rega (DL 236/98 – Anexo XVI);
- Máquina de lavar roupa (6% do consumo total) o últimos ciclo de lavagem, que é o mais exigente => equivalente a qualidade balnear (DL 236/98 – Anexo XV);
- Máquina de lavar loiça (2% do consumo total) => equivalente a qualidade alimentar (DL 243/2001).

De acordo com a composição da água da chuva, esta pode ser utilizada para usos alimentares e quaisquer usos que exijam qualidade inferior a estes sem que seja necessário proceder a tratamentos de desinfecção, desde que não seja ingerida.

4.3.3. Precipitação útil média anual, runoff

O caso de estudo localiza-se nas coordenadas 39°24'25.39''N 8°45'14.03''O, sendo a estação hidrológica mais próxima a de Alcobertas, freguesia de implementação da moradia. Consultando o site <http://snirh.pt/>, obtém-se os dados das estações hidrológicas. Devido à escassez de dados na estação hidrológica de Alcobertas, são utilizados os dados da estação hidrológica de Fráguas, coordenadas 39°22'33.81''N 8°51'16.72''O. Considera-se que estes dados são representativos da precipitação do caso de estudo devido à proximidade geográfica e semelhança hidrogeológica entre os dois locais.

Os dados hidrológicos obtidos incluem a precipitação diária desde o ano hidrológico de 1979, contudo os dados dos anos hidrológicos de 2001 a 2005 e 2007 não são considerados representativos devido à escassez dos registos, logo têm-se 23 anos

hidrológicos registados. Note-se que o ano hidrológico começa no mês de Outubro, sendo o ano hidrológico de 1979 a época desde dia 1 de Outubro de 1979 até 30 de Setembro de 1980.

É calculada a precipitação média diária por ano hidrológico, através da média aritmética dos dados por ano hidrológico cujos resultados se apresentam no Gráfico 1:

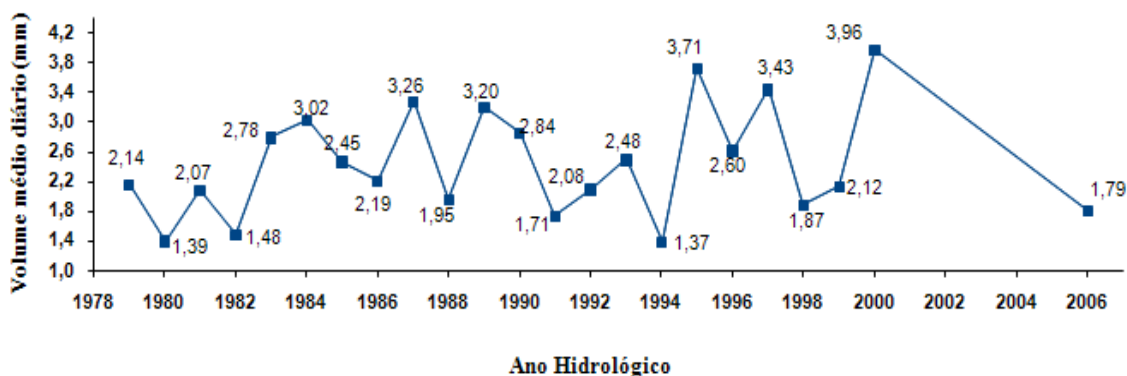


Gráfico 4. Precipitação média diária por ano hidrológico.

O ano hidrológico de maior precipitação foi 2000 que registou um volume médio diário de 3,96 mm e o de menor precipitação foi 1994 com 1,37 mm. É fácil visualizar a irregularidade nos valores de precipitação desde o ano hidrológico de 1979 a 2000, não sendo possível prever com precisão ou exactidão a evolução dos volumes precipitados.

Através da precipitação média diária por ano hidrológico calcula-se a precipitação média anual:

$$Precipitação\ anual\ média = \sum_{1977/1978}^{2004/2005} \frac{Precipitação\ anual}{número\ de\ anos}$$

O valor da precipitação média anual é de 2,43 mm. Os anos hidrológicos que mais se aproximam são o de 1985 com 2,45 mm e o ano de 1993 com 2,48 mm.

Há uma certa quantidade de água da chuva, I_a (perda inicial) para a qual não ocorrerá escorrência. [55] Isto acontece devido às propriedades de absorção da superfície de recolha que, quando seca, absorve uma quantidade de água da chuva antes de começar a escoá-la.

Através do estudo de resultados de vários pequenos lençóis de água, foi desenvolvida uma relação empírica.

$$I_a = 0,2S \quad [55]$$

Um número adimensional é definido, CN, tal que $0 \leq CN \leq 100$. Para superfícies de água e impermeáveis, $CN = 100$; para superfícies naturais, $CN < 100$. [55] CN e S (in) relacionam-se através da relação

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \quad [55]$$

Como $CN = 98$ (superfície impermeável),

$$S = \frac{1000}{98} - 10 = 0,2(\text{in}) = 5,08\text{mm}$$

e

$$I_a = 0,2 \times S = 0,2 \times 5,08 = 1,16\text{mm}$$

Ou seja, quando chove o primeiro mm de água é absorvido pela superfície de recolha, não entrando no reservatório. De acordo com esta informação, o valor de precipitação que ocorre tem que ser recalculado de modo a se obter a precipitação útil média diária, a qual passará a ser designada de runoff.

Para o cálculo de runoff foi utilizada a condição “se o valor precipitado for maior do que 1 mm, então o valor runoff será a subtração de 1 mm ao valor precipitado. Se não, o valor de runoff será igual a 0 mm”. Obtiveram-se os valores de volume de runoff por ano hidrológico do Gráfico 2:

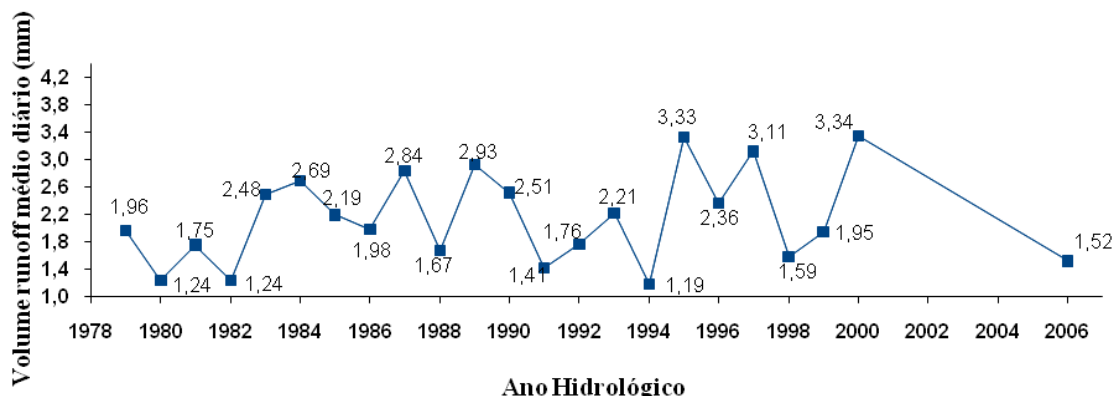


Gráfico 5. Valores de runoff médio diário por ano hidrológico.

O ano hidrológico com um maior valor de runoff foi 2000 com 3,34 mm e o de menor runoff foi 1994 com 1,19 mm.

O valor médio de runoff obtido foi de 2,14 mm e os anos hidrológicos que mais se aproximam deste valor são 1985 com 2,19 mm e 1993 com 2,21 mm.

4.3.4. Área da superfície de captação e volume captado

A superfície de captação é de 205 m². Considerando que a água da chuva será utilizada para satisfazer todas necessidades de consumo para cinco pessoas, o volume consumido, V_s (litros), será:

$$V_s = 200 \text{ litros/hab./dia} \times 5 \text{ hab.} = 1000 \text{ litros/dia}$$

Considerando o ano de menor precipitação, a precipitação de runoff, $P = 1,19 \text{ mm/dia}$

Então, através da relação

$$A = \frac{V_s}{P} \quad [49]$$

Em que A representa a área da superfície de recolha da água da chuva em m^2 , o volume médio diário captado será:

$$V_s = P \times A = 0,00119 \text{ m/dia} \times 205 \text{ m}^2 = 0,244 \text{ m}^3 / \text{dia} = 244 \text{ L/dia}$$

O volume médio diário captado no ano hidrológico de menor precipitação está longe de ser suficiente para satisfazer todas as necessidades de consumo no caso de estudo.

Se forem considerados apenas os consumos cuja qualidade da água requerida seja igual ou inferior aos usos alimentares, o consumo será de $100\% - 21\% = 79\%$ e

$$V_s = 200 \text{ litros/hab./dia} \times 0,79 \times 5 \text{ hab.} = 790 \text{ litros/dia}$$

Continua a não ser possível satisfazer as necessidades propostas no ano hidrológico de menor precipitação.

Considerando apenas os consumos para banhos e no lavatório, $25\% + 3,5\% = 28,5\%$ dos consumos,

$$V_s = 200 \text{ litros/hab./dia} \times 0,285 \times 5 \text{ hab.} = 285 \text{ litros/dia}$$

Estabelece-se assim, através da disponibilidade pluviométrica do local e da área da superfície de recolha, os usos possíveis para o caso de estudo, que estão longe de constituir os usos totais permitindo a auto-sustentabilidade a nível de águas.

4.3.5. Dimensionamento do reservatório

No dimensionamento do volume ideal para o reservatório foram utilizados os volumes disponíveis no mercado e contabilizados os dias de água fornecida com esse volume, utilizando sempre os valores de runoff..

Inicialmente, considera-se o ano hidrológico de menor precipitação, com um reservatório de 25 m^3 e utilizam-se os volumes de runoff calculados em 3.3.3. para calcular o volume captado por cada dia do ano. É calculado o balanço do consumo através da relação:

$$\text{Balanço} = V_{\text{entrada}} - V_{\text{saída}}$$

Em que:

$$V_{\text{entrada}} (\text{m}^3/\text{d}) = V_s = P \times A \text{ e } V_{\text{saída}} = \text{Volume consumido} = 0,285 \text{ m}^3/\text{d}$$

A Tabela 9 representa as primeiras linhas de cálculo para o dimensionamento do reservatório. Observando a Tabela 9 é mais fácil compreender o raciocínio seguido nos cálculos seguintes:

- O cálculo do volume acumulado no reservatório é conseguido através da condição “se ($V_{\text{acumulado}}$ do dia anterior + balanço do dia anterior) é maior que 25, então o valor de $V_{\text{acumulado}}$ é 25. Se não, é imposta outra condição: se ($V_{\text{acumulado}}$ do dia anterior + balanço do dia anterior) é menor que zero, então $V_{\text{acumulado}}$ é zero. Se não, $V_{\text{acumulado}} = (V_{\text{acumulado}}$ do dia anterior + balanço do dia anterior)”;
- Para o cálculo de água fornecida foi utilizada a condição “se $V_{\text{acumulado}}$ é maior que 0,285, então o valor de $V_{\text{água fornecida}}$ é igual a 0,285. Se não, é imposta outra condição: se ($V_{\text{acumulado}}$ do dia anterior + balanço do dia anterior) é menor que zero, então o valor de $V_{\text{água fornecida}}$ é igual ao V_{entrada} anterior. Se não $V_{\text{água fornecida}} = V_{\text{acumulado}}$ ”.

Tabela 8. Exemplo de cálculo para o volume acumulado e o volume de água fornecida nos primeiros 20 dias do ano hidrológico de 1994, para um reservatório de 25 m³.

Dia	Altura (m/d)	Área de captação (m ²)	V_{entrada} (m ³ /d)	$V_{\text{saída}}$ (m ³ /d)	Balanço	$V_{\text{acumulado}}$	$V_{\text{água fornecida}}$
			0	0,285		0	
1	0	205	0	0,285	-0,285	0	0
2	0	205	0	0,285	-0,285	0	0
3	0	205	0	0,285	-0,285	0	0
4	0	205	0	0,285	-0,285	0	0
5	0,0175	205	3,5875	0,285	3,3025	0	0
6	0	205	0	0,285	-0,285	3,3025	0,285
7	0	205	0	0,285	-0,285	3,0175	0,285
8	0	205	0	0,285	-0,285	2,7325	0,285
9	0	205	0	0,285	-0,285	2,4475	0,285
10	0,007	205	1,435	0,285	1,15	2,1625	0,285
11	0	205	0	0,285	-0,285	3,3125	0,285
12	0	205	0	0,285	-0,285	3,0275	0,285
13	0	205	0	0,285	-0,285	2,7425	0,285
14	0	205	0	0,285	-0,285	2,4575	0,285
15	0,0154	205	3,157	0,285	2,872	2,1725	0,285
16	0	205	0	0,285	-0,285	5,0445	0,285
17	0	205	0	0,285	-0,285	4,7595	0,285
18	0	205	0	0,285	-0,285	4,4745	0,285
19	0,0031	205	0,6355	0,285	0,3505	4,1895	0,285
20	0	205	0	0,285	-0,285	4,54	0,285

No Gráfico 6 estão representados os volumes de água precipitada e captada para o caso de estudo no ano hidrológico de menor precipitação, 1994:

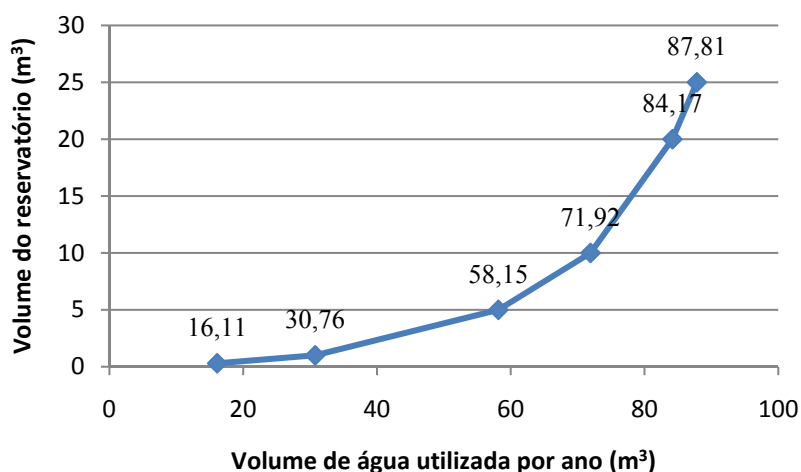


Gráfico 6. Volumes de água precipitada no ano hidrológico de menor precipitação, 1994, usados para abastecimento no caso de estudo, de acordo com os vários volumes de reservatórios considerados.

A curva do Gráfico 6 ajusta-se a uma linha de tendência exponencial com correlação, $R^2 = 0,9953$. Isto significa que aumentando o volume do reservatório aumenta o volume recolhido utilizado por ano, contudo, vai havendo uma estabilização da relação entre o volume do reservatório e o volume de água utilizado. A partir dum certo volume de reservatório não há aumento do volume de água utilizado por ano, a não ser que se aumente a percentagem de usos. Se tal for economicamente viável, é uma opção a considerar.

Tabela 9. Relação entre os volumes de reservatório e os dias de consumo para o ano hidrológico de menor precipitação, 1994

Volume do reservatório (m³)	Dias de consumo
25	307
20	294
10	253
5	207
1	119
0,3	57

Na Tabela 10 estão representados os dias em que é satisfeito o consumo proposto de acordo com o volume do reservatório dimensionado no ano hidrológico de menor precipitação. Se se optar por um reservatório de 25 m³, 28,5% dos consumos serão satisfeitos durante 307 dias por ano, contudo um volume de 20 m³ satisfará as necessidades de 294 dias, são apenas 13 dias de diferença em 5 m³ de volume. Este facto vem reforçar a análise de resultados do Gráfico 6.

Considerando um ano hidrológico de precipitação média, por exemplo, o ano hidrológico de 1993, com uma média diária de 2,21 mm, utilizando a metodologia descrita para o ano hidrológico de menor precipitação, obtém-se os dimensionamentos do Gráfico 7:

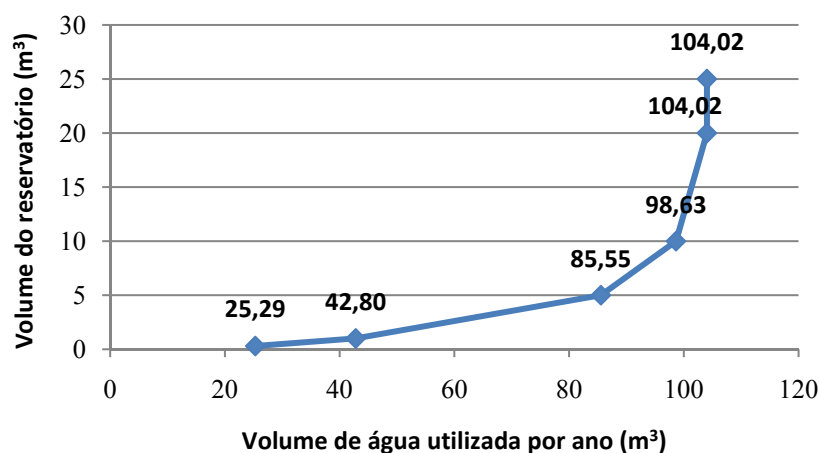


Gráfico 7. Volumes de água precipitada no ano hidrológico de precipitação média, 1993, usados para abastecimento no caso de estudo, de acordo com os vários volumes de reservatórios considerados.

Analisando os resultados dispostos no Gráfico 7, é perceptível que um volume de reservatório de 25 m³ acaba por ter o mesmo efeito que um volume de 20 m³ num ano hidrológico com precipitação média. Esta curva já não tem um comportamento tão exponencial como a do Gráfico 6, sendo o valor de $R^2 = 0,9747$. Contudo esta informação vem reforçar a ideia de é preferível optar por um volume de reservatório igual ou menor que 20 m³, pois num ano hidrológico de precipitação média com 25 m³ obtém-se o mesmo resultado que para 20 m³, o volume de água captado satisfaz as necessidades anuais para os usos escolhidos.

Tabela 10. Relação entre os volumes de reservatório e os dias de consumo para o ano hidrológico de precipitação média, 1993.

Volume do reservatório (m³)	Dias de consumo
25	365
20	365
10	346
5	300
1	150
0,3	89

Os dados da Tabela 11 apenas reforçam os resultados do Gráfico 7. Num ano hidrológico de precipitação média existe uma ligeira diferença nos dias de consumo da água recolhida em relação ao volume do reservatório que a recolhe. Este facto também pode estar relacionado com a distribuição da precipitação durante o ano hidrológico em

causa, pois durante os meses normalmente secos existiram períodos de precipitação intensa.

Considerando novamente a relação $A = \frac{V_s}{P}$, para este ano hidrológico (1993), vem:

$$V_s = P \times A = 0,00221m / dia \times 205m^2 = 0,451m^3 / dia = 451L / dia$$

Ou seja, teoricamente é possível satisfazer as necessidades para 45% dos usos para o caso de estudo num ano hidrológico de precipitação média.

Por último, fazendo o cálculo análogo para o ano hidrológico de maior precipitação, 2000, com uma média diária de 3,34 mm, obtém-se:

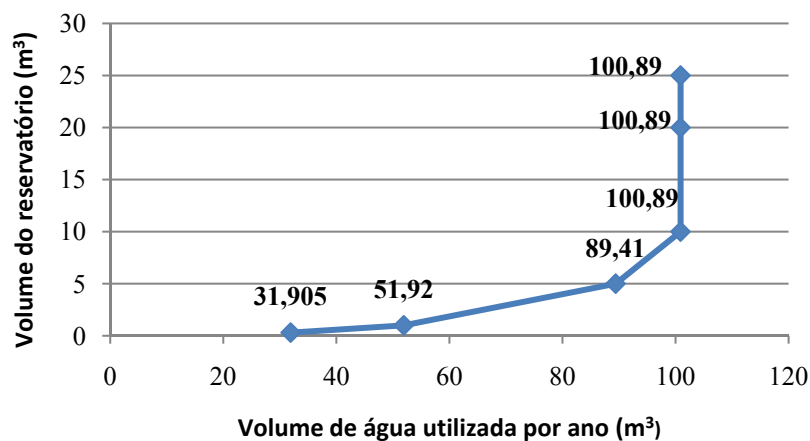


Gráfico 8. Volumes de água precipitada no ano hidrológico de precipitação média, 1993, usados para abastecimento no caso de estudo, de acordo com os vários volumes de reservatórios considerados.

No ano hidrológico de maior precipitação registado na estação de Fráguas, desde 1979, o volume de água utilizado por ano é o mesmo quer se use um depósito de 25, 20 ou 10 m³, ou seja, o volume suficiente para abastecer os usos estabelecidos durante todo o ano, como se pode observar na Tabela 12:

Tabela 11. Relação entre os volumes de reservatório e os dias de consumo para o ano hidrológico de maior precipitação média, 2000.

Volume do reservatório (m³)	Dias de consumo
25	354
20	354
10	354
5	314
1	182
0,3	112

Da Tabela 12, num ano hidrológico de precipitação elevada como 2000, um reservatório

de 10 m^3 é suficiente para satisfazer os usos estabelecidos.

Através da relação $A = \frac{V_s}{P}$, para o ano hidrológico de 2000, vem:

$$V_s = P \times A = 0,00334 \text{ m} / \text{dia} \times 205 \text{ m}^2 = 0,685 \text{ m}^3 / \text{dia} = 685 \text{ L} / \text{dia}$$

Como é lógico, quanto maior a precipitação média anual, maior o volume consumido, contudo tem que se ter em conta as oscilações dos volumes precipitados anualmente para evitar dimensionar um volume de reservatório que não cumpra os critérios estabelecidos no seu dimensionamento para alguns anos hidrológicos.

A análise económica irá ajudar na decisão do volume de reservatório a utilizar.

4.3.6. Análise económica

No dimensionamento do depósito para armazenamento da água da chuva verificou-se que consoante as condições hidrológicas haverá um volume ideal para satisfazer as necessidades de consumo para banhos e no lavatório (28,5% do consumo total). Assim pode-se relacionar os custos por volume de depósito com o benefício da utilização durante naqueles dias e qual o volume ideal em relação aos custos.

Após efectuar pedidos de orçamentos conforme os volumes disponíveis, foram apresentados os preços (sem IVA), para reservatórios em Aço Inoxidável, modelo AISI 304:

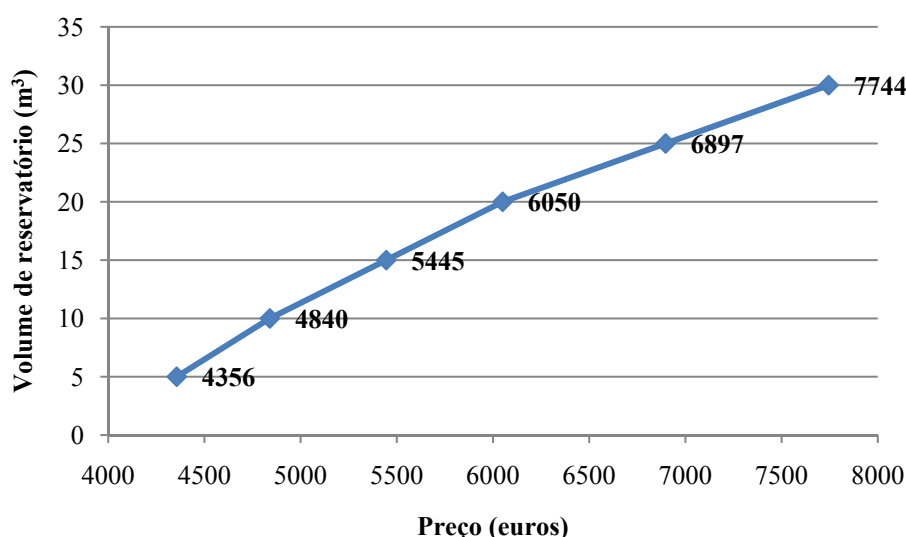


Gráfico 9. Relação entre volumes e preços de reservatórios em Aço Inoxidável.

Os preços do Gráfico 9 não incluem acessórios nem IVA. Nota-se que não existe um aumento directo entre o volume e o preço, sendo esta uma relação logarítmica expressa pela equação:

$$y = 43,225\ln(x) - 356,88 \quad \text{com } R^2 = 0,999$$

com

y = volume do reservatório (m³)

x = Preço (euros)

Ou seja, quanto maior o volume do depósito, maior a diferença de preço entre o volume anterior.

Para reservatórios em polietileno de alta densidade (baterias) para água potável (armazenar dentro de casa), sendo aconselhada a instalação em paralelo, que permite manter o caudal pretendido, obtiveram-se as relações:

Tabela 12. Relação entre os volumes disponíveis para baterias de reservatórios de polietileno de alta densidade e os preços associados.

Volume (m ³)	Baterias	Preço, sem IVA (em euros) (inclui os acessórios)
2,75	2,750	720
11	4x2,750	4134,76
16,5	6x2,750	6200,44
22	8x2,750	8269,52
33	12x2,750	12404,28

Caso se queira optar por armazenamento com reservatório subterrâneo, existe a opção em polietileno de alta densidade com capacidade para enterrar, da Rotoport, com os seguintes preços por volume:

Tabela 13. Relação entre os volumes e preços de reservatórios de polietileno de alta densidade para enterrar.

Modelo	Capacidade (m ³)	Preço (em euros)(sem IVA)
DHE 5000	5	1.395,00
DHE 10.000	10	2.690,00
DHE 15.000	15	3.970,00
DHE 20.000	20	5.400,00
DHE 25.000	25	6.545,00
DHE 30.000	30	7.820,00

Os preços da Tabela 14 não incluem acessórios nem IVA. Comparando com os preços de reservatórios em Aço Inoxidável do Gráfico 9, os reservatórios de polietileno de alta densidade são bastante mais baratos, chegando a custar menos de metade para os volumes mais baixos. Contudo neste material com o aumento de volume, a diferença de preço é muito maior do que os de Aço Inoxidável, sendo que o reservatório de 30 m³ apresenta quase o mesmo preço, independentemente do material.

5. Conclusões

- Eficiência energética

Rótulos como a ACV, que ainda não apresenta informação suficiente para se poder aplicar ao sector da construção, tal a complexidade do tipo de informações necessária, seria muito útil na diminuição de recursos produzidos em obra como medida de prevenção. A Pegada Ecológica tem carácter mais pedagógico, permitindo dum modo prático e simples sensibilizar para a educação ambiental.

Em conjunto a aplicação destes conceitos trará um valioso contributo para a sustentabilidade neste sector e informação fiável sobre os produtos utilizados, prevenindo e reduzindo a perigosidade dos RC&D, ao mesmo tempo que permitirá a sua correcta gestão. Esta informação, além de constituir um suporte às decisões técnicas para arquitectos, engenheiros, construtores e promotores, também terá a vantagem de ser uma mais-valia no momento de aquisição por um cliente, transmitindo confiança no “produto” que está a adquirir e até orgulho por poder fazer uma escolha consciente, estando também a contribuir para a sustentabilidade.

O caso de estudo segue os conceitos de Eco-Arquitectura ou Arquitectura Bioclimática, permitindo reduzir a dependência energética e consequentemente a factura energética do país, aumentar o desempenho ambiental tanto na redução de resíduos como na redução das emissões de poluentes, o nível de conforto interior, apenas através do uso de estratégias passivas de eficiência energética.

Há a promoção da iluminação natural, sendo necessário iluminação artificial durante o dia apenas na arrecadação em frente à garagem fechada, a projecção está adaptada à geometria solar, e aproveita o declive do terreno, com uma construção compacta, grande área de envidraçados no alçado Sul e respectivas protecções solares promovendo os ganhos solares no Inverno, que são restringidos no Verão. O alçado Norte fica quase cego com as protecções exteriores 100% activadas dos vãos envidraçados, sendo que a Nascente e Poente existe uma área intermédia de vãos envidraçados, todos com as respectivas protecções solares.

Apenas no Alçado Sul não existe vegetação envolvendo e protegendo contra ventos dominantes no Inverno e dos ganhos directos no Verão, renovando a taxa de Oxigénio e contribuindo para um agradável ambiente envolvente, em que há espaço para a biodiversidade na medida em que a vegetação circundante ao caso de estudo é autóctone. Serão abatidos apenas três pinheiros para a construção da moradia em Barbines.

As paredes são duplas, com caixa-de-ar e isolamento térmico entre as alvenarias em toda a envolvente (paredes, cobertura e pavimento) sendo todos os conjuntos “vidro/caixilho/persiana” com vidros duplos. Esta concepção e materiais, por si só, reduzem os efeitos de transferência de calor por condução ao longo do ano, contribuindo para o conforto térmico pois promovem uma inércia forte melhorando o desempenho ambiental da moradia.

O estudo térmico, concebido de acordo com a metodologia do RCCTE, revela os valores de Inverno ($N_{ic}/N_i = 0,60$) e Verão ($N_{vc}/N_v = 0,36$) regulamentares, pois são inferiores a 1. Quanto mais afastados de 1, melhor o desempenho energético. Para as paredes exteriores, $U = 0,46 \text{ W/m}^2\text{C}$; na cobertura, $U = 0,54 \text{ W/m}^2\text{C}$, nos vidros duplos $U = 2,5 \text{ W/m}^2\text{C}$ e factor solar = 0,41 (Inverno) / 0,27 (Verão), o que demonstra um bom desempenho, apenas com a aplicação de estratégias passivas na concepção. Contudo, em comparação com a moradia “Oásis” do Anexo I, que recebeu o prémio DGE 2003, a que mais se assemelha ao caso de estudo, apesar de incluir também estratégias de Ganho Indirecto mais complexas e dispendiosas (v. Anexo I), apresenta valores semelhantes de N_{vc}/N_v e de factor solar no Verão. Tal deve-se a ser uma zona climática diferente, ao tipo de materiais e isolamento, pois os coeficientes de transmissão térmica das paredes exteriores são inferiores no caso de estudo e da cobertura é aproximado aos valores das coberturas da moradia “Oásis”.

Acerca das AQS, o RCCTE impõem o uso de colectores solares térmicos para o aquecimento das AQS. De acordo com o programa SolTerm, para que os colectores satisfaçam completamente as necessidades de AQS será necessário gastar cerca de 7 000 euros, investimento recuperado em 9 anos. Esta solução está muito aquém das soluções disponíveis no mercado e o programa SolTerm não considera colectores solares por tubos de vácuo, que apresentam um rendimento muito superior. Após pedir orçamentos a empresas que comercializam este tipo de produtos, a empresa EiceLuft (www.eiceluft.com) apresentou as melhores condições. O orçamento de colectores solares por tubos de vácuo, com sistema de termosifão (200 L de capacidade) e capacidade para satisfazer todas as necessidades de AQS, por apenas 2 635 euros, com IVA e todos os acessórios incluídos só não inclui a montagem do sistema. Outras empresas enviaram orçamentos, contudo a Eiceluft apresentou a melhor proposta argumentando que os sistemas têm a marca Luft, 6 anos de garantia e que eles são os únicos intermediários desde a produção ao consumidor final.

Relativamente ao uso de colectores solares fotovoltaicos, as simulações experimentadas no programa SolTerm excediam sempre os 20 000 euros, sendo os períodos de retorno superiores a 15 anos apenas para suprimir 20% das necessidades energéticas. A Ilustração 7 (pág. 13) apresenta o custo de investimento actual dum sistema fotovoltaico e apesar do objectivo desta Tese ser a auto-sustentabilidade energética, o sistema energético a adquirir para conseguir a auto-sustentabilidade excederia em muito a capacidade económica de qualquer investidor de classe baixa ou classe média (90% da população de Portugal). Mesmo optando por um sistema de aproveitamento eólico, que não foi sequer abordado nesta tese, os custos atingidos para obter auto-eficiência energética divergiam pouco dos obtidos apenas recorrendo ao sistema fotovoltaico.

É necessário que haja um desenvolvimento tecnológico que permita reduzir os custos de obtenção das energias renováveis, podendo estas ser adquiridas por qualquer consumidor.

O caso de estudo, assente apenas nos conceitos de Eco-Arquitectura, é uma moradia economicamente acessível a quase todos os Portugueses com uma redução de factura energética mensal de 35%, compensando em 3 anos o investimento inicial associado às paredes duplas, isolamento térmico e conjunto “vidro/caixilho/persiana”.

- Eficiência dos usos da água

A primeira medida de eficiência nos usos de água é a prevenção, tal como nos outros recursos. Diminuindo os consumos e utilizando racionalmente este recurso conseguem atingir-se reduções de até 30% dos consumos com pequenos gestos como fechar a torneira enquanto se lava os dentes, aproveitar a água fria antes do banho para lavagens, por exemplo, não ter torneiras a pingar, utilizando redutores de caudal nas torneiras e utilizando autoclismos de 6l com a hipótese de descarga de 3l. Estas alterações implicam uma eficiência potencial de 60% em relação a um autoclismo de 10l.

Também existem disponíveis várias medidas de reutilização de águas interiores para usos menos exigentes, como o uso no autoclismo e para rega de jardins, representando cerca de 46% de redução do consumo, sem considerar as medidas referidas anteriormente. Contudo este seria um tema para outra tese devido às questões técnicas a aplicar e analisar.

A captação de água da chuva constitui uma medida de reutilização de água que de outro modo continuaria no ciclo hidrológico. Além de reduzir a factura mensal do consumo de água, existem vários benefícios, associados a esta alternativa, conforme foi referido nas secções 4.1. e 4.2..

Os documentos consultados aconselham analisar dados de 30 a 40 anos hidrológicos para melhor prever o dimensionamento do sistema, contudo, para o caso de estudo, obtiveram-se apenas dados de 23 anos hidrológicos. Talvez não seja o suficiente para determinar um comportamento da precipitação devido às alterações que se têm notado nos últimos anos em que a precipitação apresenta uma distribuição irregular nos últimos anos, talvez devido aos danos infligidos no nosso planeta com a poluição produzida. De ano para ano, as estações chuvosa e seca têm-se tornado cada vez menos distintas. Os agricultores, principalmente, têm notado essas alterações pois a sua actividade e consequentemente, a sua sobrevivência dependem quase exclusivamente dos ciclos hidrológicos.

As oscilações anuais da precipitação levaram a cálculos de dimensionamento para três tipos de anos hidrológicos com precipitação baixa, média e alta, para satisfazer consumos não potáveis que representam 28,5% do consumo estimado através do inquérito aos hábitos de utilização e consumo de água numa habitação em Portugal. Foram caracterizados todos os componentes do sistema de recolha e armazenamento de água da chuva e respectivas funções, mas como o reservatório representa cerca de 40% do custo total, este foi considerado o factor de maior relevância no dimensionamento do sistema.

De acordo com os dimensionamentos efectuados, a análise económica e as características do caso de estudo, a opção considerada mais viável é a escolha dum reservatório com um volume de 10 m³, que num ano de menor precipitação abastecerá 28,5% dos usos domésticos durante quase 9 meses por ano, num ano de precipitação média abastece os mesmos usos durante pouco mais de 11 meses, enquanto num ano de maior precipitação será suficiente para satisfazer estes mesmos usos todo o ano hidrológico.

O caso de estudo possui uma zona de arrumos com uma área de 25 m² na empena Norte, que se encontra completamente enterrada e isolada do resto da habitação possuindo paredes duplas e isolamento térmico, apenas com acesso interior, em frente à garagem. Esta arrecadação tem condições para manter as características desejáveis ao armazenamento de águas pluviais descrito na secção 4.2., assim é possível manter quase na totalidade as vantagens de armazenamento subterrâneo e as de armazenamento térreo se se utilizar esta arrecadação para o reservatório. Seleccionando o reservatório de polietileno da alta densidade, com baterias instaladas em paralelo, com um volume de 11m³, apesar de neste caso não haver o volume escolhido, é sempre bom o volume total ser superior ao dimensionado, assim há menos probabilidades de recolher detritos acumulados no fundo do reservatório quando se atinge o nível mínimo de água.

O custo total do sistema de recolha e armazenamento de água da chuva será aproximadamente de 7 000 euros, com IVA. Tendo em conta a tarifa de consumo da rede de saneamento, este investimento é recuperado dentro do tempo de vida dos equipamentos adquiridos, constituindo uma mais-valia para o consumidor.

Também na eficiência das águas não foi atingido o objectivo da auto-sustentabilidade, neste recurso tal não foi possível devido às oscilações anuais de precipitação, tendo que se considerar sempre o caso mais crítico para um correcto dimensionamento do sistema de recolha e armazenamento de águas pluviais.

6. Bibliografia

- [1] COM (2004) 60. Razões pelas quais a construção sustentável é uma prioridade, Bruxelas: Comunicação da Comissão ao Conselho, ao Parlamento Europeu, ao Comité Económico e Social Europeu e ao Comité das Regiões, 11 de Fevereiro de 2004.
- [2] Vanderley, Jonh, “Desenvolvimento Sustentável, Construção Cível, Reciclagem e Trabalho Multidisciplinar”, Disponível no endereço:
http://www.reciclagem.pcc.usp.br/des_sustentavel.html
- [3] Indústria e Ambiente, Revista de Informação Técnica e Científica, nº 44 – 1º Trimestre 2007.
- [4] Ding, Grace K.C., "Sustainable construction— the role of environmental assessment tools", Journal of Environmental Management, Elsevier, 2007.
- [5] Ferreira, José Vicente Rodrigues; Gestão Ambiental, Análise de ciclo de vida dos produtos, Instituto Politécnico de Viseu, 2004.
- [6] Wines James, Jodidio Philip, “Green Architecture”, Taschen, 2000.
- [7] PROTESTE 288 Fevereiro 2008.
- [8] Gonçalves, Helder; Graça, João Mariz, Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal, INETI 2004.
- [9] Energy-efficient homes and buildings, The beauty of efficiency, nº2, May 2008.
- [10] Indústria e Ambiente, Revista de Informação Técnica e Científica, nº 43 – 4º Trimestre 2006.
- [11] Indústria e Ambiente, Revista de Informação Técnica e Científica, nº 50 – Maio/Julho 2008.
- [12] Protocolo de Quioto à Convenção Quadro das Nações Unidas sobre mudanças climáticas. Disponível no endereço:
<http://www.mdl.gov.mz/download/quioto.pdf>
- [13] Comissão propõe acção sobre rendimento energético nos edifícios. Disponível no endereço:
<http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=IP/01/604&format=HTML&aged=1&language=PT&guiLanguage=en>
- [14] D.L. n.º 79/2006 de 4 de Abril, Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE).

- [15] D.L. n.º 80/2006 de 4 de Abril, Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios (RCCTE).
- [16] Energy-efficient homes and buildings, The beauty of efficiency. Disponível no endereço: http://ec.europa.eu/energy/intelligent/library/doc/ka_reports/buildings_en.pdf
- [17] Intelligent Energy-Europe (IEE). Disponível no endereço: <http://www.managenergy.net/eie.html>
- [18] Lançamento dos “*Prémios DGE 2003 – Eficiência Energética em Edifícios*”, INETI.
- [19] Gonçalves, Hélder, Prémios DGE 2003, Eficiência Energética em Edifícios, Edifícios residenciais, INETI.
- [20] Manual de Boas Práticas de Eficiência Energética, Conselho Empresarial para o Desenvolvimento Sustentável, Novembro de 2005.
- [21] Pereira, Manual Collares; “Energias Renováveis, a opção inadiável”, Centro de Biomassa para a Energia.
- [22] Raplaus – Solar térmico. Disponível em: <http://www.raplaus.pt/termico.htm>
- [23] Guia da Energia Solar, Concurso Solar – Padre Himalaya. Disponível em: http://www.abae.pt/jra/sem04-05/spes_davidloureiro.pdf
- [24] Scott Aldous; How solar cells works. Disponível em: <http://science.howstuffworks.com/solar-cell.htm>
- [25] WS Energia Lda. (2006). Disponível em: <http://www.ws-energia.com/eng/industrial/doublesun.html>
- [26] International Energy Agency; Trends in Photovoltaic: Applications Survey report of selected IEA countries between 1992 and 2004, IEA, Report IEA-PVPS T1-14:2005.
- [27] Kjelsson E.; potentialstudie för byggnadsintegrerande solceller I Sverige, 2000.
- [28] Rapport TVBH-7216 Lund 2000, Avdelningen för Byggnadsfysik, LTH.
- [29] Eficiência Energetica - Inércia Térmica, by Livia Tirone. Disponível em: [kennunes_com – Inércia_Térmica.htm](http://kennunes_com - Inércia_Térmica.htm)
- [30] Primeiro relatório Nacional a submeter à Conferência das partes de Convenção sobre a Diversidade Biológica, Ministério do Ambiente, Instituto da Conservação da Natureza, 1998.
- [31] Group Raindrops, 100 maneiras de aproveitar a água da chuva. Disponível no endereço: <http://www.bempublico.com.br/pedidos/raindrop.htm>

- [32] Metcalf & Eddy, AECOM, Water Reuse – Issues, Technologies, and Applications, McGrawHill, 2007.
- [33] Plano Nacional da Água.
- [34] Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água - Bases e Linhas Orientadoras (PNUEA).
- [35] Programa Nacional para o Uso Eficiente de Água, Versão Preliminar, Estudo elaborado pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) com apoio do Instituto Superior de Agronomia (ISA) Lisboa, Setembro de 2001.
- [36] Fendrich, R. Aplicabilidade do armazenamento, utilização e infiltração das águas pluviais na drenagem urbana. Curitiba, Tese de Doutoramento, Universidade Federal do Paraná, 2002.
- [37] “La Cisterna Basílica (La Cisterna de Yerebatan)” Disponível no endereço: <http://www.estambul-online.com/yerebatan.htm>
- [38] “A cisterna basílica de Istambul em Turquia: um tanque de água para a cidade” Disponível em: www.voyagesphotosmanu.com/cisterna_basilica_istambul.html
- [39] Turner, Stephen, “Design of Rainwater Storage Tanks for use in Developing Countries, Department of Engineering University of Warwick, April 2000.
- [40] Silva, Ana Roberta Victoria, Tassi, Rutinéia, “Dimensionamento e simulação do comportamento de um reservatório para aproveitamento de água da chuva: resultados preliminares”, Fundação Universidade Federal do Rio Grande, 2005.
- [41] Sousa, Anabela Pinho de, Silva, José Figueiredo da, Tratamento dos efluentes líquidos gerados e aproveitamento da água da chuva – Sistemas de Tratamento, AveiroDomus, Sub-projecto de Águas Interiores, Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro, Agosto de 2006.
- [42] “Water: Don’t waste a drop” Building for a Future, Volume 14, N.º 1, 2004.
- [43] “Conserving water in Buildings: Rainwater reuse.” Disponível no endereço: http://www.environment-agency.gov.uk/commondata/105385/rainwater_reuse_889316.pdf
- [44] May, Simone, Estudo da viabilidade do aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações, Escola Politécnica (EP) – Universidade de S. Paulo, 2004.
- [45] “Collecting and Utilizing Rainfall Runoff: A Homeowner’s Manual of Ideas for Harvesting Rainwater”. Disponível no endereço: <http://www.tjswcd.org/rooftopmanual.pdf>

- [46] Still, G. T. and Thomas, T. H.: “Sizing and optimally locating guttering for rainwater harvesting”, *DTU, Warwick University, UK*. Disponível no endereço: <http://www.eng.warwick.ac.uk/DTU/pubs/outside/ircsa11gutters.pdf>
- [47] Domestic Roofwater Harvesting Research Programme: “Roofwater Harvesting for Poorer Households in the Tropics”, Development Technology Unit School of Engineering, University of Warwick. Disponível no endereço: <http://www.eng.warwick.ac.uk/DTU/rwh/dfiddocs/r1.pdf>
- [48] Carvalho, Joana; Cassidy, J.; Gomes, L, “Recolha e armazenamento de água da chuva” Projecto para obtenção do grau de licenciatura de Bolonha em Engenharia do Ambiente, Universidade de Aveiro, 2008.
- [49] Texas Water Development Board (2005): “The Texas Manual on Rainwater Harvesting”, Third edition.
- [50] “Chuva ácida”. Disponível do endereço: http://pt.wikipedia.org/wiki/Chuva_%C3%A1cida#cite_ref-1
- [51] Macomber, P. (2001): “Guidelines on Rainwater Catchment Systems for Hawaii” Department of Natural Resources and Environmental Management College of Tropical Agriculture and Human Resources, University of Hawaii at Manoa.
- [52] Freerain: Advanced Garden Rainwater Collection System. Disponível no endereço: <http://www.freerain.co.uk/garden-aboveground.html>
- [53] Matias, Hugo Gonçalo “Avaliação da possibilidade de reutilização e redução da água na casa de banho de uma habitação” Projecto para obtenção do grau de licenciatura em Engenharia do Ambiente, Universidade de Aveiro, 2005.
- [54] Vieira, P.; Moura e Silva, A.; Melo Baptista, J.; Almeida, M. C.; Ribeiro, R.; *Inquérito aos hábitos de utilização e consumos de água na habitação*, 10º Encontro Nacional de Saneamento Básico, Braga 2002.
- [55] Chow, V. T., Maidment, D. R. and Mays, L.W., ‘Applied Hydrology’, civil engineering series, McGraw-Hill international editors, 1988.
- [56] Laboratório Nacional Engenharia Civil (LNEC) Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios **ITE – 50**.
- [57] D.L. nº 236/1998 de 1 de Agosto, Normas, Critérios e Objectivos de Qualidade com a finalidade de proteger o meio aquático e melhorar a qualidade das águas em função dos seus principais usos.
- [58] March, J. G.; Gual, M.; Orozco, F.; Experiences on greywater re-use for toilet flushing in a Hotel; Maiorca 2003.

[59] Técnicas solares passivas, materiais e soluções disponíveis em Portugal, *Ingenuim* – Revista da Ordem dos Engenheiros, Maio, 1988.

[60] Reabilitação energética da envolvente de edifícios residenciais, Edição DGGE / IP-3E, Lisboa, Novembro 2004.

[61] Kibert, Charles J., "Sustainable Construction Green Building Design and Delivery", Wiley, 2005.

[62] Green Building Source Guide, prepared by Rick Barnett para Oregon Housing & Community Services, Equal Housing Opportunity, nº 11, 2002.

[63] Kofi, Annan; Secretário-Geral da ONU, Relatório do Milénio, 2003.

[64] Markov, Detelin; Stankov, Peter; Pichurov, George; On the control of indoor environment quality and energy efficiency; Technical University of Sofia, Center for Research and Design in Human Comfort, Energy and Environment (CERDECEN).

[65] Indústria e Ambiente, Revista de Informação Técnica e Científica, nº 51 – Julho/Agosto, 2008.

Sites consultados:

www.inag.pt

<http://snirh.pt>

www.eiceluft.com

Anexo I – Prémios DGE 2003

Eficiência Energética em Edifícios

Edifícios residenciais ⁽¹⁾

(1) O Anexo I é uma adaptação dos conteúdos de [19]

- Moradia “Borboleta”

Arquitetura: Arqº Jes Mainwaring, Company Architect: Alma Verde Village and Spa
c/colaboração de Fernando Campos, António Ferreira, José Quintino

Consultores Energéticos e Ambientais: Faber Maunsell Sustainable Development

Promotor: Alma Verde Village and Spa



(1)



(2)

Edifício

Esta moradia, designada por Casa Borboleta, é uma moradia unifamiliar, integrada numa Urbanização de Férias no Algarve em Vila do Bispo (Alma Verde – Village and Spa). Esta urbanização prevê a construção de cerca de 180 moradias, com as mesmas características construtivas, a mesma concepção e os mesmos princípios de funcionamento passivo. Este edifício integra-se num Projecto de Demonstração a nível Europeu (Thermie), sendo um estudo de caso.



(3)



(4)

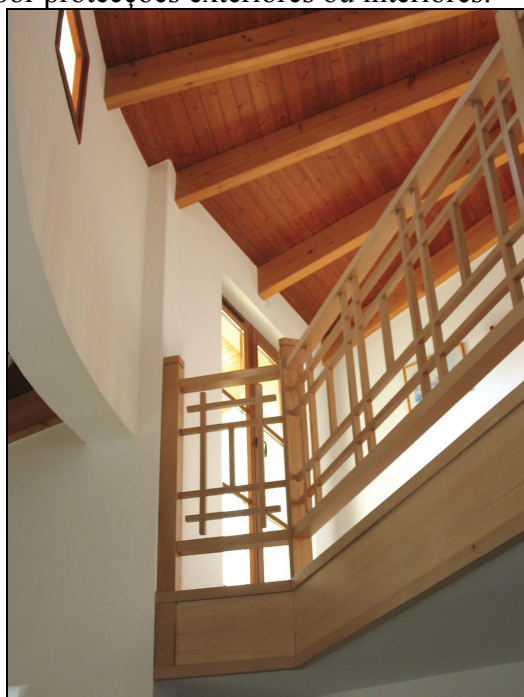
Estratégia

Este edifício constitui-se como exemplo típico de uma estratégia de projecto que será aplicado em toda a urbanização. Estas moradias integram um sistema designado por COOLHOUSE, que consiste num sistema de ventilação por tubos enterrados no exterior do edifício, quer para aquecimento, quer para arrefecimento. Este sistema permite arrefecer o ar no verão e o seu pré-aquecimento no inverno, tirando partido da

temperatura da terra. A insuflação do ar é feita por um ventilador mecânico ao qual se associa um silenciador.

Construção

Apresenta uma construção maciça, onde se destaca a utilização de parede dupla, com uma forra interior em adobe, e um bom nível de isolamento térmico em toda a envolvente exterior, 6 cm nas paredes, e 11 cm na cobertura. As lajes são maciças, sendo as paredes interiores também em adobe. Os vãos envidraçados estão devidamente orientados a sul, e minimizados a norte, permitindo um aumento dos ganhos solares no período de inverno. Os vidros são de baixa emissividade, minimizando assim as perdas térmicas da habitação. Verifica-se um adequado controle da incidência solar nos vãos, por protecções exteriores ou interiores.



(5)



(6)

Parâmetros

A verificação regulamentar (RCCTE) apresenta excelentes valores para a situação de Inverno ($N_{ic}/N_i = 0,18$), bem como para a situação de Verão ($N_{vc}/N_v = 0,35$).

Paredes

$U = 0,31 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$

Cobertura

$U = 0,40 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$

Vidros Duplos

$U = 1,4 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$

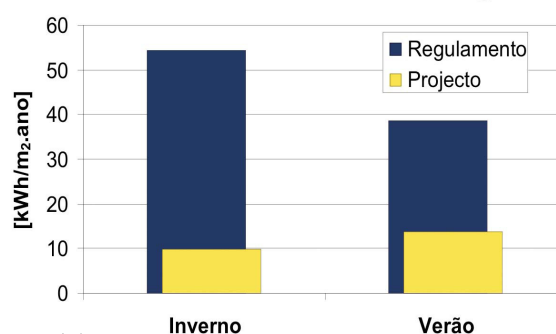
Factor Solar = 0,09

Comportamento

Foram efectuadas medições no período de Agosto e Setembro de 2003. Verificaram-se temperaturas extremas de 37°C no exterior (2 de Agosto de 2003), enquanto a casa registou apenas $25,5^\circ\text{C}$. A semana (1 a 7 de Agosto) foi um período com temperaturas exteriores muito elevadas, com máximas de 35°C e mínimas também elevadas (22°C). Neste período verificou-se um excelente

RCCTE - Casa Borboleta - Vila do Bispo zona climática I₁ - V₂

Necessidades Nominais de Energia



(7)

comportamento da casa, com uma grande estabilidade nas temperaturas interiores, com um valor médio de 25°C.

Legenda das Ilustrações da moradia “Borboleta” [6] , adaptado:

- (1) – Implementação, alçado Sul.
- (2) – Entrada principal.
- (3) – Pormenor de janela.
- (4), (5) e (6) – Pormenores interiores.
- (7) – Comparação entre os valores das Necessidades Nomiais de Energia estabelecidos no RCCTE e os da moradia “Borboleta”.

- Moradias em Janas

Arquitectos: Arqº Filipa Mourão e Arqº João Santa Rita

Promotor: Arqº João Santa Rita



(1)



(2)

Edifício

As moradias de Janas localizam-se numa paisagem rural na zona de Sintra, sendo constituídas por um conjunto de três moradias geminadas. O local de implantação é ligeiramente inclinado com uma pendente de orientação Sul, o que facilitou a integração do conceito de aproveitamento solar neste conjunto. As moradias apresentam uma grande área de vãos a sul, sendo a fachada norte quase cega.



(3)



(4)

Estratégia

Os vãos envidraçados orientados a sul, associados à massa do edifício, constituem um eficiente sistema passivo de ganho directo, assumindo-se como a principal estratégia deste edifício. Os vãos são duplos incolores, em caixilhos de madeira e portadas interiores de madeira. Têm palas de sombreamento estruturais, e foi prevista a colocação de toldos de lona exterior para aumentar o sombreamento dos vãos no período de verão. A ventilação natural cruzada constituiu um importante elemento de controle da temperatura interior.



(5)



(6)

Construção

O edifício é totalmente isolado pelo exterior, pelo que é um edifício sem pontes térmicas. As paredes exteriores são de alvenaria simples com 6 cm de poliestireno extrudido (Sistema Dryvit), sendo as lajes maciças e isoladas pelo exterior (pavimento com 4 cm de epx numa caixa ventilada) e a laje de cobertura com 10 cm de poliestireno extrudido. As paredes interiores são maciças de forma a aumentar o efeito de inércia térmica do edifício.

Parâmetros

A verificação regulamentar (RCCTE) apresenta excelentes valores para a situação de Inverno ($N_{ic}/N_i=0,08$) e para o Verão ($N_{vc}/N_v=0,25$).

Paredes
 $U=0,50 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$

Cobertura
 $U=0,60 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$

Vidros Duplos
 $U=2,4 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$

Factor Solar = 0,08

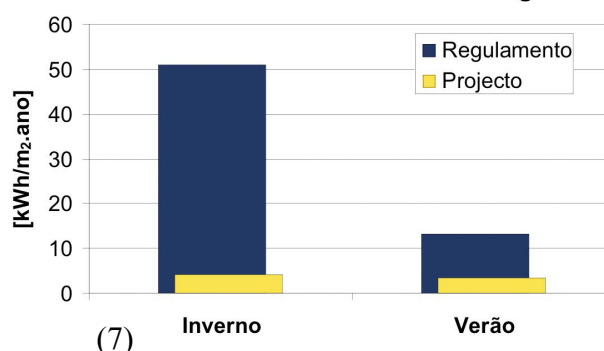
Comportamento

Do ponto de vista de conforto térmico, os utilizadores manifestaram a sua satisfação pela prestação global das habitações. Nenhum dos utilizadores das casas poente e central utilizou, até ao momento, qualquer meio de aquecimento auxiliar. No verão, a ventilação cruzada e o sombreamento dos vãos mostraram adequar-se à especificidade climática do local.

RCCTE - Janas

zona climática I₁ - V₁

Necessidades Nominiais de Energia



Legenda das Ilustrações das moradias em Janas [6], adaptado:

- (1) – Alçado Sul.
- (2) – Alçado Norte.
- (3) e (4) – Pormenores do alçado Sul.
- (5) e (6) – Pormenores interiores.
- (7) – Comparação entre os valores das Necessidades Nomiais de Energia estabelecidos no RCCTE e os das moradias em Janas.

- Moradias “Oásis”

Projecto Térmico e Promotor: Engº Cândido de Sousa

Arquitectura Paisagística: Arqº José António Cavaco

Arquitectura Bioclimática: Engº Cândido de Sousa e Engº António Santos



(1)



(2)

Edifício

Este edifício é uma moradia unifamiliar isolada, em zona rural a norte de Faro. Tem uma implantação num terreno em declive orientado a sul, o que propicia um desenvolvimento da casa em diferentes níveis e com uma orientação solar favorável. Tem as aberturas dos vãos predominantemente na orientação sul, sendo a fachada norte praticamente cega, sendo que num dos pisos a empena norte é totalmente enterrada.



(3)



(4)

Estratégia

O edifício tem uma variedade de sistemas, dos quais se destacam os grandes vãos a sul (Ganho Directo) bem como as paredes de armazenamento (Ganho Indirecto), com as devidas protecções solares (palas fixas e estores exteriores). Tem um sistema de tubos enterrados no solo, que funcionarão como sistema de aquecimento e arrefecimento, em determinados períodos, tirando partido da temperatura da terra, e de uma estufa para pré-aquecimento do ar de insuflação na casa no inverno.



(5)



(6)

Construção

Apresenta uma construção maciça, com uma envolvente dupla, com forra interior em bloco de betão de 20 cm e a forra exterior em tijolo de 15 cm com isolamento entre panos de 3 cm. A inércia térmica do edifício é elevada, quer pela envolvente maciça, quer pelas paredes interiores maciças, lajes, floreiras e camas em alvenaria com massas

de acumulação de água. Os vidros são de baixa emissividade, minimizando assim desta forma as perdas térmicas da habitação.

Parâmetros

A verificação regulamentar (RCCTE) apresenta excelentes valores para a situação de Inverno ($N_{ic}/N_i = 0,17$), sendo que no Verão os valores são menos favoráveis ainda que dentro dos valores exigidos no concurso ($N_{vc}/N_v = 0,66$).

<u>Paredes</u>	<u>Cobertura</u>	<u>Vidros Duplos</u>	Factor Solar =
0,02/0,22			
$U=0,60 \text{ W/m}^2\text{°C}$	$U= 0,70/0,40 \text{ W/m}^2\text{°C}$	$U= 1,7 \text{ W/m}^2\text{°C}$	

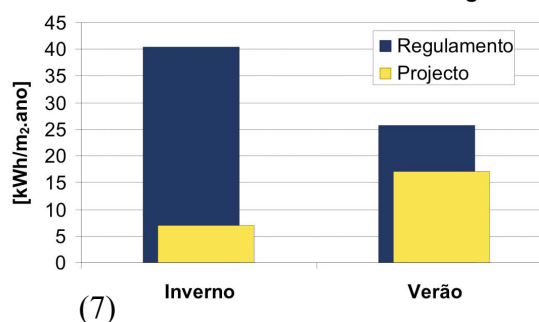
Comportamento

Os resultados experimentais relativos ao período de 21 de Dezembro de 2003 a 7 de Fevereiro de 2004, denotam um bom comportamento térmico, com temperaturas médias no interior da ordem dos 20°C quando no exterior são de cerca de 15°C . Não havendo ainda dados para a situação de verão, os resultados apresentados correspondem a uma simulação que denota alguma tendência para sobreaquecimento no período de verão.

RCCTE - Oásis - Faro

zona climática I₁ - V₂

Necessidades Nominais de Energia



Legenda das Ilustrações das moradias “Oásis” [6] , adaptado:

- (1) – Alçados Este e Sul.
- (2) – Alçado Oeste.
- (3) – Pormenor do alçado Oeste.
- (4) – Pormenor do alçado Sul.
- (5) e (6) – Pormenores interiores.
- (7) – Comparação entre os valores das Necessidades Nomiais de Energia estabelecidos no RCCTE e os das moradias “Oásis”.

- Torre Sul – Apartamentos

Projecto de arquitectura e coordenação geral: TIRONE NUNES Arquitectura Lda.

Projecto térmico: Protermia – Projectos Térmicos Industriais e de Ambiente, Lda.

Projecto arranjos exteriores: Proap Consultoria Ambiental:Edsaco-Edifícios

Saudáveis

Promotor: TIRONE NUNES, SA



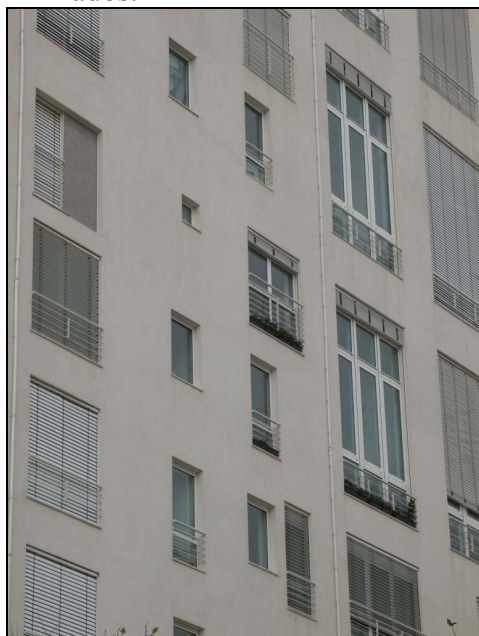
(1)



(2)

Edifício

O edifício, denominado por Torre Sul, situa-se no Parque das Nações em Lisboa. Trata-se de um edifício de apartamentos com 12 pisos em forma de L, constituído por 55 apartamentos de 21 tipologias diferentes. Os apartamentos distribuem-se pela zona sul do edifício, favorecendo assim uma localização dos vãos preferencialmente segundo aquela orientação. A zona norte do edifício é zona de corredores com os vãos minimizados.



(3)



(4)

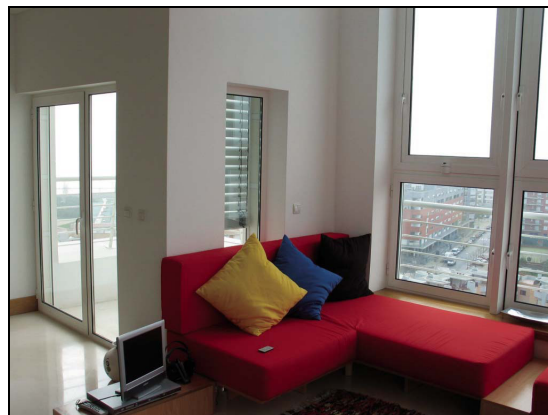
Estratégia

O edifício apresenta um conjunto de sistemas que visam maximizar a captação solar através de grandes vãos orientados a sul. Em algumas tipologias estes vãos apresentam um duplo pé direito favorecendo grandes ganhos solares. Verifica-se também a existência de pequenas paredes de armazenamento térmico, localizadas na parte inferior

dos vãos. A existência de estores de lâminas exteriores reguláveis, permite um excelente controle da incidência solar. Os vãos envidraçados de abertura regulável permitem uma ventilação natural cruzada, processo que permite um controle da temperatura interior do apartamento, quer no verão, quer no inverno.



(5)



(6)

Construção

O edifício é isolado pelo exterior com 6cm de poliestireno expandido (Sistema Dryvit) nas paredes que são de alvenaria simples de 22 e 35 cm de alvenaria de tijolo, sendo as lajes maciças e isoladas pelo exterior, com 8 cm sobre laje de betão com 24 cm. Esta solução evita pois a existência de pontes térmicas no edifício. As lajes de pavimento dos apartamentos são maciças, bem como as paredes de separação entre fogos. Os vidros são duplos incolores.

Parâmetros

A verificação regulamentar (RCCTE) foi efectuada para todos os apartamentos, sendo que todos verificam os requisitos do concurso, tendo-se encontrando os seguintes valores mínimos/médios/máximos; Inverno ($N_{ic}/N_i=0,19/0,39/0,81$) e Verão ($N_{vc}/N_v=0,21/0,30/0,41$). De igual forma, o RSECE também é verificado por força da existência de um sistema de aquecimento central de água.

Paredes

$U=0,50/0,43 \text{ W/m}^2\text{°C}$

Cobertura

$U= 0,43 \text{ W/m}^2\text{°C}$

Vidros Duplos

$U= 3,2/2,6 \text{ W/m}^2\text{°C}$

Factor Solar = 0,09

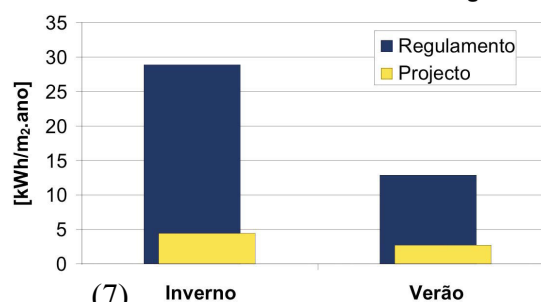
Comportamento

Em resultado da boa prestação térmica do edifício, o sistema de aquecimento central existente foi pouco utilizado, de acordo com os relatos dos seus ocupantes. Estes também manifestaram a sua plena satisfação em termos de conforto térmico, quer no inverno, quer no verão.

RCCTE - Torre Sul - Lisboa (Ap - 2B)

zona climática I₁ - V₁

Necessidades Nominais de Energia



(7)

Legenda das Ilustrações da Torre Sul - Apartamentos [6] , adaptado:

- (1) – Orientação Sul.
- (2) – Pormenor da Orientação Sul
- (3) – Pormenor do alçado Norte.
- (4) – Pormenor interior.
- (5) e (6) – Pormenores interiores.
- (7) – Comparação entre os valores das Necessidades Nomiais de Energia estabelecidos no RCCTE e na Torre Sul – Apartamentos.

Anexo II – Cálculo de U

Quadro 17. Resistências térmicas superficiais (Quadro VII.1 do RCCTE).

Sentido do fluxo de calor	Resistência térmica superficial ($\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$)		
	Exterior $\overline{R_{se}}$	Local não aquecido (*) R_{si}	Interior $\overline{R_{si}}$
Horizontal (**)	0,04	0,13	0,13
Vertical (***):			
Ascendente	0,04	0,10	0,10
Descendente	0,04	0,17	0,17

(*) Os valores indicados traduzem o facto de, no caso do cálculo do coeficiente de transmissão térmica de um elemento que separa um local não aquecido de um local aquecido, se adoptar $R_{se} = R_{si}$.

(**) Aplicável a paredes (até mais ou menos 30° com a vertical).

(***) Aplicável a coberturas e pavimentos

- Elementos exteriores em zona corrente:

- Zonas opacas verticais:

Tabela 1 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica, U ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) para as paredes duplas em contacto com o exterior.

PE1				
Parede dupla	dj (m)	λ ($\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$)	Rj ($\text{W}^{-1} \text{m}^2 \text{K}$)	Referências
Alvenaria de tijolo	0,15	0,27	0,56	ITE 50, p. I.12
Caixa de ar	0,02	0,11	0,18	Quadro VII.2
Isolamento XPS(<11)	0,03	0,037	0,81	ITE 50, p. I.3
Alvenaria de tijolo	0,11	0,27	0,41	ITE 50, p. I.12
Reboco interior e exterior	0,04	1,3	0,03	
Pedra basáltica (exterior)	0,02	1,1	0,02	ITE 50, p. I.4
TOTAL	0,37	$\Sigma R_j =$	2,00	U= 0,46

Tabela 2. Cálculo do coeficiente de transmissão térmica, U ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) para as paredes duplas em contacto com o exterior e enterradas.

PE2				
parede dupla enterrada	dj (m)	λ ($\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$)	Rj ($\text{W}^{-1} \text{m}^2 \text{K}$)	Referências
Betão (2300 - 2600 kg m3)	0,21	2	0,11	ITE 50, p. I.5
Caixa de ar	0,02	0,11	0,18	Quadro VII.2
Isolamento XPS	0,03	0,037	0,81	ITE 50, p. I.3
Alvenaria de tijolo	0,11	0,27	0,41	ITE 50, p. I.12
Reboco interior e exterior	0,04	1,3	0,03	
TOTAL	0,41	$\Sigma R_j =$	1,54	U= 0,59

Tabela 3. Cálculo do coeficiente de transmissão térmica, U ($\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) para as paredes duplas em contacto com o exterior, nas zonas de pilar.

Parede exterior PE3 - zona de pilar				
Constituição	dj (m)	λ ($\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$)	Rj ($\text{W}^{-1} \text{m}^2 \text{K}$)	Referências
Pedra basáltica	0,02	1,1	0,02	ITE 50, p. I.4
Painel de betão pré-fabricado	0,05	1,05	0,05	ITE 50, p. I.9
Isolamento XPS	0,03	0,037	0,81	ITE 50, p. I.3
Pilar de betão (1-2 % armadura)	0,23	2,4	0,10	ITE 50, p. I.5
Reboco interior e exterior	0,04	1,3	0,03	
TOTAL	0,37	$\Sigma R_j =$	1,00	U= 0,85

Tabela 4. Cálculo do coeficiente de transmissão térmica, U ($\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) para as paredes duplas em contacto com o exterior, enterradas, nas zonas de pilar.

Parede exterior enterrada PE4 - zona de pilar				
Constituição	dj (m)	λ ($\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$)	Rj ($\text{W}^{-1} \text{m}^2 \text{K}$)	Referências
Alvenaria de tijolo	0,11	0,27	0,41	ITE 50, p. I.12
Pilar de betão(1-2 % armadura)	0,22	2,3	0,10	ITE 50, p. I.5
Isolamento XPS	0,03	0,037	0,81	ITE 50, p. I.3
Painel de betão pré-fabricado	0,05	1,05	0,05	ITE 50, p. I.9
TOTAL	0,41	$\Sigma R_j =$	1,36	U= 0,65

Tabela 5. Cálculo do coeficiente de transmissão térmica, U ($\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) para a zona de viga na parede exterior, pavimento intermédio.

PE5, Zona de viga – Pavimento intermédio				
Constituição	dj (m)	λ ($\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$)	Rj ($\text{W}^{-1} \text{m}^2 \text{K}$)	Referências
Betão (2300 - 2600 kg m3)	0,25	2	0,13	ITE 50, p. I.5
Reboco exterior	0,02	1,3	0,02	
Isolamento XPS	0,03	0,037	0,81	ITE 50, p. I.3
Painel de betão pré-fabricado	0,05	1,05	0,05	ITE 50, p. I.9
Total	0,35	$R_{se}+R_{si}+R_j =$	1,27	U= 0,79

Tabela 6. Cálculo do coeficiente de transmissão térmica, U ($\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) para a zona de viga na parede exterior, na cobertura.

PE6, Zona de viga - Cobertura				
Constituição	dj (m)	λ ($\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$)	Rj ($\text{W}^{-1} \text{m}^2 \text{K}$)	Referências
Betão (2300 - 2600 kg m3)	0,28	2,00	0,14	ITE 50, p. I.5
Reboco	0,04	1,30	0,03	ITE 50, p. I.5
Isolamento XPS	0,03	0,021	1,43	
Dupla camada tela asiática	0,005	0,23	0,02	ITE 50, p. I.9
Total	0,35	$R_{se}+R_{si}+R_j =$	1,83	U= 0,55

Tabela 7. Cálculo do coeficiente de transmissão térmica, U ($W/m^2 \cdot ^\circ C$) para zona de envidraçado em contacto com painel de sombreado na cobertura – Pormenor 3a.

EV com painel de sombreado, cobertura - Pormenor 3a				
Constituição	dj (m)	λ ($W m^{-1} K^{-1}$)	Rj ($W^{-1} m^2 K$)	Referências
Betão (2300 - 2600 kg m3)	0,200	2,00	0,10	ITE 50, p. I.9
Reboco	0,020	1,30	0,02	
Isolamento XPS	0,030	0,037	0,81	ITE 50, p. I.3
Painel de betão pré-fabricado	0,050	1,05	0,05	ITE 50, p. I.9
Total	0,300	Rse+Rsi+Rj=	1,14	U= 0,87

Tabela 8. Cálculo do coeficiente de transmissão térmica, U ($W/m^2 \cdot ^\circ C$) para zona de envidraçado em contacto com painel de sombreado na cobertura – Pormenor 3b.

EV com painel de sombreado, cobertura - Pormenor 3b				
Constituição	dj (m)	λ ($W m^{-1} K^{-1}$)	Rj ($W^{-1} m^2 K$)	Referências
Caixilho de madeira densa (mogno)	0,3	0,23	1,30	ITE 50, p. I.5
Painel de betão pré-fabricado	0,050	1,05	0,05	ITE 50, p. I.9
Total	0,35	Rse+Rsi+Rj=	1,56	U= 0,64

Tabela 9. Cálculo do coeficiente de transmissão térmica, U ($W/m^2 \cdot ^\circ C$) para zona de envidraçado em contacto com painel de sombreado no piso intermédio – Pormenor 4a.

EV com painel de sombreado, piso intermédio- Pormenor 4a				
Constituição	dj (m)	λ ($W m^{-1} K^{-1}$)	Rj ($W^{-1} m^2 K$)	Referências
Caixilho de madeira densa (mogno)	0,3	0,23	1,30	ITE 50, p. I.5
Painel de betão pré-fabricado (só c areia do rio)	0,050	1,05	0,05	ITE 50, p. I.9
Total	0,35	Rse+Rsi+Rj=	1,52	U= 0,66

Tabela 10. Cálculo do coeficiente de transmissão térmica, U ($W/m^2 \cdot ^\circ C$) para zona de envidraçado em contacto com painel de sombreado no piso intermédio – Pormenor 4b.

EV com painel de sombreado, piso intermédio - Pormenor 4b				
Constituição	dj (m)	λ ($W m^{-1} K^{-1}$)	Rj ($W^{-1} m^2 K$)	Referências
Betão (2300 - 2600 kg m3)	0,27	2	0,14	
Isolamento XPS	0,030	0,04	0,81	ITE 50, p. I.3
Painel de betão pré-fabricado (só c areia do rio)	0,050	1,05	0,05	ITE 50, p. I.9
Total	0,35	Rse+Rsi+Rj=	1,16	U= 0,86

- Zonas opacas horizontais:

Tabela 11. Cálculo do coeficiente de transmissão térmica, U ($\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) para a laje do pavimento térreo, Laje 1a.

Pavimento térreo – Laje 1a				
Constituição	d_i (m)	λ ($\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$)	R_i ($\text{W}^{-1} \text{m}^2 \text{K}$)	Referências
Betão (2300 - 2600 kg m ³)	0,195	2,000	0,10	ITE 50, p. I.5
Filme de polietileno	0,005	0,500	0,01	ITE 50, p. I.8
Reboco interior	0,02	1,300	0,02	
Isolamento Floormate	0,04	0,035	1,14	building.dow.com
Camada de forma	0,04	1,300	0,03	ITE 50, p. I.7
Soalho pedra lioz	0,02	2,300	0,01	ITE 50, p. I.4
TOTAL	0,32	$\Sigma R_i =$	1,31	U= 0,69

Tabela 12. Cálculo do coeficiente de transmissão térmica, U ($\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) para a laje do pavimento térreo, Laje 1b.

Pavimento térreo – Laje 1b				
Constituição	d_j (m)	λ ($\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$)	R_j ($\text{W}^{-1} \text{m}^2 \text{K}$)	Referências
Betão (2300 - 2600 kg m ³)	0,24	2	0,12	ITE 50, p. I.5
Caixilho de madeira densa (mogno)	0,060	0,23	0,26	ITE 50, p. I.8
TOTAL	0,3	$\Sigma R_j =$	0,38	U= 1,92

Tabela 13. Cálculo do coeficiente de transmissão térmica, U ($\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) para a laje do pavimento intermédio, Laje 2.

Pavimento intermédio – Laje 2				
Constituição	d_j (m)	λ ($\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$)	R_j ($\text{W}^{-1} \text{m}^2 \text{K}$)	Referências
Soalho pedra lioz (calc duro)	0,02	2,3	0,01	ITE 50, p. I.4
Reboco interior e exterior	0,04	1,3	0,03	
Camada de forma	0,03	1,3	0,02	ITE 50, p. I.7
Betão (2300 - 2600 kg m ³)	0,125	2	0,06	ITE 50, p. I.5
Isolamento XPS	0,03	0,037	0,81	ITE 50, p. I.3
Camada de betão leve	0,075	0,850	0,09	ITE 50, p. I.5
Total	0,32	$R_{se}+R_{si}+R_j =$	1,29	U= 0,77

Tabela 14. Cálculo do coeficiente de transmissão térmica, U ($\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) da cobertura, Laje 3.

Cobertura - Laje 3				
Constituição	d_j (m)	λ ($\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$)	R_j ($\text{W}^{-1} \text{m}^2 \text{K}$)	Referências
Laje de betão normal	0,300	2,00	0,15	ITE 50, p. I.5
Camada de forma	0,070	1,30	0,05	
Dupla camada tela asfáltica	0,010	0,46	0,02	ITE 50, p. I.9
Isolamento XPS	0,040	0,029	1,38	www.sotecnisol.pt
Manta geotextil	0,005	0,28	0,02	ITE 50, p. I.8
Godo – brita	0,070	2,00	0,04	ITE 50, p. I.9
Rufo de zinco	0,005	110,00	0,00	ITE 50, p. I.9
Total	0,500	$\Sigma R_j =$	1,66	U= 0,54

Tabela 15. Cálculo do coeficiente de transmissão térmica, U ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) na cobertura, Pormenor 1a.

Cobertura - Pormenor 1a				
Constituição	d_j (m)	λ ($\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$)	R_j ($\text{W}^{-1} \text{m}^2 \text{K}$)	Referências
Laje de betão normal	0,300	2,00	0,15	ITE 50, p. I.5
Camada de forma	0,005	1,30	0,00	
Dupla camada tela asfáltica	0,010	0,46	0,02	ITE 50, p. I.9
Manta geotextil	0,005	0,28	0,02	ITE 50, p. I.8
Godo – brita	0,175	2,00	0,09	ITE 50, p. I.9
Rufo de zinco	0,005	110,00	0,00	ITE 50, p. I.9
Total	0,500	$\Sigma R_j =$	0,28	U= 2,04

Tabela 16. Cálculo do coeficiente de transmissão térmica, U ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) na cobertura, Pormenor 1b.

Cobertura - Pormenor 1b				
Constituição	d_j (m)	λ ($\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$)	R_j ($\text{W}^{-1} \text{m}^2 \text{K}$)	Referências
Reboco interior e exterior	0,05	1,3	0,04	
Laje de betão normal	0,455	2,00	0,23	ITE 50, p. I.5
Dupla camada tela asfáltica	0,010	0,46	0,02	ITE 50, p. I.9
Isolamento XPS	0,030	0,029	1,03	www.sotecnisol.pt
Rufo de zinco	0,005	110,00	0,00	ITE 50, p. I.9
Total	0,500	$\Sigma R_j =$	1,32	U= 0,65

Tabela 17. Cálculo do coeficiente de transmissão térmica, U ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) na cobertura, Pormenor 2a.

Cobertura - Pormenor 2a				
Constituição	d_j (m)	λ ($\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$)	R_j ($\text{W}^{-1} \text{m}^2 \text{K}$)	Referências
Dupla camada tela asfáltica	0,005	0,50	0,01	ITE 50, p. I.9
Laje de betão normal	0,260	2,00	0,13	ITE 50, p. I.5
Isolamento XPS	0,030	0,029	1,03	www.sotecnisol.pt
Rufo de zinco	0,005	110,00	0,00	ITE 50, p. I.9
Total	0,300	$\Sigma R_j =$	1,17	U= 0,72

Tabela 18. Cálculo do coeficiente de transmissão térmica, U ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) na cobertura, Pormenor 2b.

Cobertura - Pormenor 2b				
Constituição	d_j (m)	λ ($\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$)	R_j ($\text{W}^{-1} \text{m}^2 \text{K}$)	Referências
Rufo de zinco	0,005	110,00	0,00	ITE 50, p. I.9
Dupla camada tela asfáltica	0,005	0,50	0,01	ITE 50, p. I.9
Isolamento XPS	0,030	0,029	1,03	www.sotecnisol.pt
Laje de betão normal	0,200	2,00	0,10	ITE 50, p. I.5
Caixilho de madeira densa	0,060	0,230	0,26	ITE 50, p. I.7
Total	0,300	$\Sigma R_j =$	1,41	U= 0,62

Tabela 19. Cálculo do coeficiente de transmissão térmica, U ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) na cobertura, Pormenor 3.

Cobertura - Pormenor 3				
Constituição	d_j (m)	λ ($\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$)	R_j ($\text{W}^{-1} \text{m}^2 \text{K}$)	Referências
Dupla camada tela asfáltica	0,005	0,50	0,01	ITE 50, p. I.9
Laje de betão normal	0,200	2,00	0,10	ITE 50, p. I.5
Isolamento XPS	0,030	0,029	1,03	www.sotecnisol.pt
Caixilho de madeira densa	0,060	0,230	0,26	ITE 50, p. I.7
Rufo de zinco	0,005	110,00	0,00	ITE 50, p. I.9
Total	0,300	$\Sigma R_j =$	1,14	U= 0,74

- Elementos interiores em zona corrente:

- Zonas opacas verticais:

Tabela 20. Cálculo do coeficiente de transmissão térmica, U ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) para a parede simples interior em contacto com a zona não aquecida.

Parede de separação entre o interior e o espaço não aquecido - PI1				
Constituição	d_j (m)	λ ($\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$)	R_j ($\text{W}^{-1} \text{m}^2 \text{K}$)	Referências
Reboco exterior	0,02	1,3	0,02	ITE 50, p. I.4
Alvenaria de tijolo	0,11	0,27	0,41	ITE 50, p. I.12
Reboco interior	0,02	1,3	0,02	ITE 50, p. I.4
TOTAL	0,15	$R_{se}+R_{si}+R_j =$	0,56	U= 1,43

Tabela 21. Cálculo do coeficiente de transmissão térmica, U ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) para a parede dupla interior em contacto com a zona não aquecida.

Parede dupla interior com espaço não aquecido - PI2				
Parede	d_j (m)	λ ($\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$)	R_j ($\text{W}^{-1} \text{m}^2 \text{K}$)	Referências
Alvenaria de tijolo	0,15	0,27	0,56	ITE 50, p. I.12
Caixa de ar	0,02	0,11	0,18	Quadro VII.2
Isolamento XPS(<11)	0,03	0,037	0,81	ITE 50, p. I.3
Alvenaria de tijolo	0,11	0,27	0,41	ITE 50, p. I.12
Reboco interior e exterior	0,04	1,3	0,03	
Pedra basáltica (exterior)	0,02	1,1	0,02	ITE 50, p. I.4
TOTAL	0,37	$\Sigma R_j =$	2,00	U= 0,44

Tabela 22. Cálculo do coeficiente de transmissão térmica, U ($\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) para as paredes duplas em contacto com o espaço não aquecido

Parede exterior com espaço não aquecido - PE7				
Constituição	dj (m)	λ ($\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$)	Rj ($\text{W}^{-1} \text{m}^2 \text{K}$)	Referências
Alvenaria de tijolo	0,15	0,27	0,56	ITE 50, p. I.12
Caixa de ar	0,02	0,11	0,18	Quadro VII.2
Isolamento XPS(<11)	0,03	0,037	0,81	ITE 50, p. I.3
Alvenaria de tijolo	0,11	0,27	0,41	ITE 50, p. I.12
Reboco interior e exterior	0,04	1,3	0,03	
Pedra basáltica (exterior)	0,02	1,1	0,02	ITE 50, p. I.4
TOTAL	0,37	$\Sigma R_j =$	2,00	U= 0,46

- Zonas opacas horizontais:

Tabela 23. Cálculo do coeficiente de transmissão térmica, U ($\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) para a laje do pavimento térreo sobre espaço interior não aquecido

Pavimento sobre espaço interior não aquecido - Laje5				
Constituição	dj (m)	λ ($\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$)	Rj ($\text{W}^{-1} \text{m}^2 \text{K}$)	Referências
Laje de betão	0,2	2,4	0,08	ITE 50, p. I.5
Filme de polietileno	0,005	0,5	0,01	ITE 50, p. I.8
Reboco interior e exterior	0,04	1,3	0,03	
Isolamento floormate	0,04	0,035	1,14	
Camada de forma	0,04	1,3	0,03	ITE 50, p. I.7
Soalho pedra lioz	0,02	2,3	0,01	ITE 50, p. I.4
TOTAL	0,345	$R_{se}+R_{si}+R_j =$	1,45	U= 0,69

- **Correcção das situações não-regulamentares**

Tabela 24. Cálculo do coeficiente de transmissão térmica corrigido, U ($\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) para a laje do pavimento térreo, Laje 1b.

Pavimento térreo - Laje1b - Corrigido				
Constituição	dj (m)	λ ($\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$)	Rj ($\text{W}^{-1} \text{m}^2 \text{K}$)	Referências
Laje de betão normal	0,21	2	0,11	ITE 50, p. I.5
Caixilho de madeira densa	0,060	0,23	0,26	ITE 50, p. I.8
Isolamento XPS	0,030	0,037	0,81	ITE 50, p. I.3
TOTAL	0,3	$\Sigma R_j =$	1,18	U= 0,76

Tabela 25. Cálculo do coeficiente de transmissão térmica corrigido, U ($W/m^2 \cdot ^\circ C$) na cobertura, Pormenor 1ª.

Cobertura - Pormenor 1a - Corrigido				
Constituição	dj (m)	λ ($W m^{-1} K^{-1}$)	Rj ($W^{-1} m^2 K$)	Referências
Laje de betão normal	0,300	2,00	0,15	ITE 50, p. 1.5
Camada de forma	0,005	1,30	0,00	
Dupla camada tela asfáltica	0,010	0,46	0,02	ITE 50, p. 1.9
Manta geotextil	0,005	0,28	0,02	ITE 50, p. 1.8
Godo – brita	0,145	2,00	0,07	ITE 50, p. 1.9
Rufo de zinco	0,005	110,00	0,00	ITE 50, p. 1.9
Isolamento XPS	0,030	0,029	1,03	www.sotecnisol.pt
Total	0,500	$\Sigma Rj =$	1,30	U= 0,66

Tabela 26. Cálculo do coeficiente de transmissão térmica corrigido, U ($W/m^2 \cdot ^\circ C$) para a parede simples interior em contacto com a zona não aquecida.

Parede de separação entre o interior e o espaço não aquecido - PI1				
Constituição	dj (m)	λ ($W m^{-1} K^{-1}$)	Rj ($W^{-1} m^2 K$)	Referências
Reboco exterior	0,02	1,3	0,02	ITE 50, p. 1.4
Alvenaria de tijolo	0,11	0,27	0,41	ITE 50, p. 1.12
Reboco interior	0,02	1,3	0,02	ITE 50, p. 1.4
Isolamento XPS	0,03	0,037	0,81	
TOTAL	0,18	$Rse+Rsi+Rj =$	1,51	U= 0,66

Anexo III – Folhas de cálculo

Folha de Cálculo FC IV. 1a

Perdas Associadas à Envolvente Exterior

Piso - Orientação	A (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
0 – Norte 1	6,15	0,46	2,83
0 – Norte 2	7,20	0,46	3,31
0 – Norte 3	0,85	0,46	0,39
0 – Norte 4	3,60	0,46	1,66
0 – E 1	1,07	0,46	0,49
0 – E 2	5,15	0,46	2,37
0 – E 3	2,16	0,46	0,99
0 – E 4	2,84	0,46	1,30
0 – E 5	5,40	0,46	2,48
0 – Sul 1	7,16	0,46	3,29
0 – W 1	3,66	0,46	1,68
0 – W 2	0,85	0,46	0,39
1 – Norte 1	10,26	0,46	4,72
1 – Norte 2	1,62	0,46	0,74
1 – Norte 3	6,75	0,46	3,10
1 – Norte 4	2,70	0,46	1,24
1 – Norte 5	2,70	0,46	1,24
1 – Norte 6	6,75	0,46	3,10
1 – Norte 7	1,62	0,46	0,74
1 – Norte 8	10,26	0,46	4,72
1 – E 1	1,62	0,46	0,74
1 – E 2	6,75	0,46	3,10
1 – E 3	2,70	0,46	1,24
1 – E 4	2,70	0,46	1,24
1 – E 5	6,75	0,46	3,10
1 – Sul 1	7,29	0,46	3,35
1 – Sul 2	7,29	0,46	3,35
1 – W 1	6,75	0,46	3,10
1 – W 2	2,70	0,46	1,24
1 – W 3	2,70	0,46	1,24
1 – W 4	6,75	0,46	3,10
1 – W 5	1,62	0,46	0,74
Pontes térmicas planas:			
Pilares grandes com parede exterior	17,01	0,85	14,50
Pilares pequenos com parede exterior	17,95	0,85	15,30
Pilares em contacto com o solo	4,43	0,65	2,89
Pilares – perfis de aço, piso 1	2,84	2,56	7,27
Total			106,35

Pavimentos Exteriores	A (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)

Coberturas Exteriores	A (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
Cobertura	225	0,54	120,44

Pontes térmicas lineares	B (m)	ep (m)	ψ (W/m.°C)	Ψ.B ((W.°C)
Fachada com os pavimentos térreos (0 a 0,4m)	19,95	≥ 0,25	0,60	11,97
Fachada com os pavimentos térreos (0,05 a 1,5m)	6,80	0,41	2,00	13,60
Fachada em contacto com o solo - z de -1,2 a 0,0m	46,29	0,41	1,40	64,81
Fachada com os pavimentos sobre locais não aquecidos	10,00	0,35	0,70	7,00
Fachada com os pavimentos intermédios	76,33	0,35	0,30	22,90
Fachada com o terraço	76,33	>0,35	0,75	57,25
Duas paredes verticais	3,85	0,35	0,20	0,77
Ligação da fachada com a caixa de estore		0,00	0,00	0,00
Fachada com padieira, ombreira ou peitoril		0,00	0,00	0,00
			Total	178,29

Folha de Cálculo FC IV. 1b

Perdas associadas à Envoltente Interior

Paredes em contacto com espaços não-úteis ou edifícios adjacentes	A (m ²)	U (W/m ² .°C)	A _i /A _u	τ (tabIV.1)	τ.U.A (W/°C)	τ.A (m ²)
Garagem	27	1,43	1,00	0,80	30,94	21,60
Total					30,94	21,60

Pavimentos sobre espaços não-úteis	A (m ²)	U (W/m ² .°C)	A _i /A _u	τ (tabIV.1)	τ.U.A (W/°C)	τ.A (m ²)
Laje 5 - Garagem	25	0,69	0,34	0,80	13,83	20
Total					13,83	20

Coberturas interiores (tectos sobre espaços não-úteis)	A (m ²)	U (W/m ² .°C)	A _i /A _u	τ (tabIV.1)	τ.U.A (W/°C)	τ.A (m ²)
Total					0,00	0,00

Vãos envidraçados em contacto com espaços não-úteis	A (m ²)	U (W/m ² .°C)	A _i /A _u	τ (tabIV.1)	τ.U.A (W/°C)	τ.A (m ²)
Total					0,00	0,00

Incluir obrigatoriamente os elementos que separam a Fracção Autónoma dos seguintes espaços:

Zonas comuns em edifícios com mais de uma Fracção Autónoma;

Edifícios anexos;

Garagens, armazéns, lojas e espaços não-úteis similares;

Sotãos não-habitados.

Folha de Cálculo FC IV. 1c

Perdas associadas aos vãos envidraçados exteriores

Vãos envidraçados exteriores	A (m ²)	U (W/m ² .°C) ^(*)	U.A (W/°C)
Verticais:			
Piso 0			
EV 1 N	2,60	2,50	6,50
EV 2 N	1,20	2,50	3,00
EV 3 N	1,16	2,50	2,90
EV 4 E	0,90	2,50	2,25
EV 5 E	2,00	2,50	5,00
EV 6 E	6,48	2,40	15,55
EV 7 E	2,70	2,50	6,75
EV 8 E	2,70	2,50	6,75
EV 9 S	6,56	2,50	16,40
EV 10 S	16,71	2,50	41,78
EV 11 S	7,02	2,50	17,55
EV 12 W	0,80	0,77	0,62
EV 13 W	1,92	2,40	4,61
Piso 1			
EV 14 N	2,70	2,50	6,75
EV 15 N	1,35	2,50	3,38
EV 16 N	2,02	2,50	5,06
EV 17 N	7,02	2,50	17,55
EV 18 N	16,74	2,50	41,85
EV 19 N	2,03	2,50	5,06
EV 20 N	1,35	2,50	3,38
EV 21 N	2,70	2,50	6,75
EV 22 E	2,70	2,50	6,75
EV 23 E	1,35	2,50	3,38
EV 24 E	6,48	2,40	15,55
EV 25 E	2,70	2,50	6,75
EV 26 E	1,35	2,50	3,38
EV 27 S	6,56	2,50	16,40
EV 28 S	16,71	2,40	40,11
EV 29 S	7,02	2,40	16,85
EV 30 S	6,56	2,50	16,40
EV 31 W	1,35	2,50	3,38
EV 32 W	2,70	2,50	6,75
EV 33 W	6,48	2,40	15,55
EV 34 W	1,35	2,50	3,38
EV 35 W	2,70	2,50	6,75
Horizontais:			
	0,00	0,00	0,00
^(*) ITE 50, III.5	152,079	Total	381,45

Folha de Cálculo FC IV. 1d

Perdas associadas à renovação do ar

Área útil de pavimento	401,90	m
	x	
Pé direito médio	2,70	m ²
	=	
Volume interior, V	1085,12	m ³

Ventilação Natural			
Cumprir NP 1037-1 ?	(S ou N)	<input type="text" value="N"/>	se SIM: <input type="text" value="RPH = 0.6"/>
Se NÃO:			
Classe da Caixilharia	(s/c, 1, 2 ou 3)	<input type="text" value="1"/>	
Caixas de estore	(S ou N)	<input type="text" value="N"/>	
Classe de exposição, quadro IV.2	(1, 2, 3 ou 4)	<input type="text" value="2"/>	
Aberturas auto-reguladas?	(S ou N)	<input type="text" value="N"/>	
Área de envidraçados > 15%xA _p ?	(S ou N)	<input type="text" value="S"/>	A _{EV} =38,48 >15%xA _p
Portas exteriores bem vedadas ?	(S ou N)	<input type="text" value="S"/>	

Taxa de renovação nominal
 Ver quadro IV.1
RPH = 1

Folha de Cálculo FC IV. 1e

Ganhos úteis na estação de aquecimento (Inverno)

Ganhos Solares:

Orientação do vão envidraçado	Tipo (simples ou duplo)	A (m ²)	Factor de orientação, X (-)	Factor solar do vidro, g (-)	Factor Obstrução, Fs (-) Fh*Fo*Ff	Fracção envidraçada Fg (-)	Factor de selectividade angular Fw (-)	Área efectiva Ae (m ²)
Piso 0								
EV 1 N	duplo	2,60	0,27	0,78	0,90	0,65	0,90	1,07
EV 1 N	duplo	1,20	0,27	0,78	0,90	0,65	0,90	0,49
EV 2 N	duplo	1,16	0,33	0,78	0,90	0,65	0,90	0,48
EV 3 E	duplo	0,90	0,56	0,78	0,76	0,65	0,90	0,31
EV 4 E	duplo	2,00	0,56	0,78	0,76	0,65	0,90	0,69
EV 5 E	duplo	6,48	0,56	0,78	0,76	0,65	0,90	2,24
EV 6 E	duplo	2,70	0,56	0,78	0,76	0,65	0,90	0,93
EV 7 E	duplo	2,70	0,56	0,78	0,76	0,65	0,90	0,93
EV 8 S	duplo	6,56	1,00	0,78	0,59	0,65	0,90	1,78
EV 9 S	duplo	16,71	1,00	0,78	0,59	0,65	0,90	4,53
EV 10 S	duplo	7,02	1,00	0,78	0,59	0,65	0,90	1,90
EV 11 W	duplo	0,80	0,56	0,78	0,76	0,65	0,90	0,28
EV 12 W	duplo	1,92	0,56	0,78	0,76	0,65	0,90	0,66
Piso 1								
EV 13 NW	duplo	2,70	0,33	0,78	0,86	0,65	0,90	1,06
EV 14 NW	duplo	1,35	0,33	0,78	0,86	0,65	0,90	0,53
EV 15 N	duplo	2,03	0,27	0,78	0,90	0,65	0,90	0,83
EV 16 N	duplo	7,02	0,27	0,78	0,90	0,65	0,90	2,88
EV 17 N	duplo	16,71	0,27	0,78	0,90	0,65	0,90	6,86
EV 18 N	duplo	2,03	0,27	0,78	1,00	0,65	0,90	0,92
EV 19 NE	duplo	1,35	0,33	0,78	0,86	0,65	0,90	0,53
EV 20 NE	duplo	2,70	0,33	0,78	0,86	0,65	0,90	1,06
EV 21 E	duplo	2,70	0,56	0,78	0,78	0,65	0,90	0,96
EV 22 E	duplo	1,35	0,56	0,78	0,76	0,65	0,90	0,47
EV 23 E	duplo	6,48	0,56	0,78	0,76	0,65	0,90	2,24
EV 24 E	duplo	2,70	0,56	0,78	0,84	0,65	0,90	1,03
EV 25 E	duplo	1,35	0,56	0,78	0,76	0,65	0,90	0,47
EV 26 S	duplo	6,56	1,00	0,78	0,87	0,65	0,90	2,61
EV 27 S	duplo	16,71	1,00	0,78	0,81	0,65	0,90	6,18
EV 28 S	duplo	7,02	1,00	0,78	0,81	0,65	0,90	2,59
EV 29 S	duplo	6,56	1,00	0,78	0,87	0,65	0,90	2,61
EV 30 W	duplo	1,35	0,56	0,78	0,76	0,65	0,90	0,47
EV 31 W	duplo	2,70	0,56	0,78	0,84	0,65	0,90	1,03
EV 32 W	duplo	6,48	0,56	0,78	0,76	0,65	0,90	2,24
EV 33 W	duplo	1,35	0,56	0,78	0,76	0,65	0,90	0,47
EV 34 W	duplo	2,70	0,56	0,78	0,76	0,65	0,90	0,93

Área Efectiva Total Equivalente na orientação sul (m ²)	22,21
	x
Radiação incidente num envidraçado a Sul (G _{sol}) na zona	93
2 (kWh/m ² .mês) - do quadro 8, anexo III	x
Duração da estação de Aquecimento	6
	=
Ganhos solares brutos (kWh/ano)	12393,12

Ganhos internos:

Ganhos internos médios, q _i (quadro IV.3)	4	W/m ²
	x	
Duração da estação de inverno, M	6	meses
	x	
Área útil de pavimento, A _p	401,90	m ²
	x	
Q _i =q _i *M*A _p *0,72->factor	0,72	kWh
	=	
Ganhos internos brutos	6944,75	kWh/ano

Ganhos úteis totais:

$$\gamma = \frac{\text{Ganhos Solares Brutos} + \text{Ganhos Internos Brutos}}{\text{Necessidades Brutas de Aquecimento (FC IV.2)}} = 0,41$$

Inércia do edifício \square a = 4,2

(QUADROS VII.5 e VII.6)

Factor de Utilização de Ganhos Solares, (η)	0,53
	x
Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos Brutos	19337,86
	=
Ganhos Totais Úteis (kWh/ano)	18679,51

Folha de Cálculo FC IV. 1f

Valor máximo das necessidades de aquecimento (N_i)

FACTOR DE FORMA

das FC IV.1a e 1c: (Áreas) m^2

Paredes Exteriores	244,91
Coberturas Exteriores	225,00
Pavimentos Exteriores	0,00
Envidraçados Exteriores	152,08

Da FC IV.1b: Áreas equivalentes A_e

Paredes Interiores	21,60
Coberturas Interiores	0,00
Pavimentos Interiores	25,00
Envidraçados Interiores	0,00

<i>Área total:</i>	668,60
--------------------	--------

/

<i>Volume da FC IV.1d</i>	1085,12
---------------------------	---------

=

FF

0,62

Graus-dia no local ($^{\circ}\text{C.dia}$)

1570

$$N_i = 4,5 + 0,0395 \text{ GD}$$

$$N_i = 4,5 + (0,021 + 0,037\text{FF}) \text{ GD}$$

$$N_i = [4,5 + (0,021 + 0,037\text{FF}) \text{ GD}] + (1,2 - 0,2 \text{ FF})$$

$$N_i = 4,05 + 0,06885 \text{ GD}$$

para $\text{FF} < 0,5$ para $0,5 < \text{FF} < 1$ para $1 < \text{FF} < 1,5$ para $\text{FF} > 1,5$ Nec. Nom. De Aquec. Máximas - N_i ($\text{kWh/m}^2\text{.ano}$)

73,26

Folha de Cálculo FC IV. 2

Cálculo do Indicador *Nic*

Perdas Associadas a:	W/°C
Envolvente Exterior (FC IV.1a)	530,07
Envolvente Interior (FC IV.1b)	51,79
Vãos Envidraçados (FC IV.1c)	380,80
Renovação do ar (FC IV.1d)	255,00
	=
Coefficiente Global de Perdas	1217,66
	x
Graus-dia no local (°C.dia)	1570
	x
	0,024
	=
Necessidades Brutas de Aquecimento (kWh/ano)	47177,53
	-
Ganhos Totais Úteis (kWh/ano) (da FC IV.1e)	19065,72
	=
Necessidades de Aquecimento (kWh/ano)	28111,80
	/
Área Útil de Pavimento (m ²)	401,89
	=
Nec Nomiais de aquec, <i>Nic</i> (kWh/m².ano)	69,95
	<
Nec. Nom. De Aquec. Máximas - <i>Ni</i> (kWh/m².ano)	73,26

Folha de Cálculo FC V.1a

Perdas

Perdas associadas às paredes exteriores (U.A)	FC IV.1a	66,38	(W/°C)
		+	
Perdas associadas aos pavimentos exteriores (U.A)	FC IV.1a	0,00	(W/°C)
		+	
Perdas associadas às coberturas exteriores (U.A)	FC IV.1a	120,44	(W/°C)
		+	
Perdas associadas aos envidraçados exteriores (U.A)	FC IV.1c	385,31	(W/°C)
		+	
Perdas associadas à renovação do ar (U.A)	FC IV.1d	0,00	(W/°C)
		=	
Perdas específicas totais (Q_{1a})		572,14	(W/°C)

Temperatura interior de referência	25	°C
	-	
Temp média do ar exterior na estação de arrefecimento	19	°C
Quadro III.9	=	
Diferença de temperatura interior-exterior	6	°C
	x	
Perdas específicas totais (Q _{1a})	572,14	(W/°C)
	x	
	2,928	
	=	
Perdas Térmicas Totais (Q_{1b})	10051,34	(kWh)

Folha de Cálculo FC V.1b

Perdas associadas a Coberturas e Envidraçados Exteriores (Verão)

Perdas associadas às coberuras exteriores

Coberturas exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
Cobertura	225	0,54	120,44
		TOTAL	120,44

Perdas associadas aos envidraçados exteriores

EV Exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² .°C) *	U.A (W/°C)
Verticais:			
EV 1 N	2,6	2,50	6,50
EV 2 N	1,2	2,50	3,00
EV 3 N	1,16	2,50	2,90
EV 4 E	0,9	2,50	2,25
EV 5 E	2	2,50	5,00
EV 6 E	6,48	2,50	16,20
EV 7 E	2,7	2,50	6,75
EV 8 E	2,7	2,50	6,75
EV 9 S	6,561	2,50	16,40
EV 10 S	16,713	2,50	41,78
EV 11 S	7,02	2,50	17,55
EV 12 W	0,8	0,77	0,62
EV 13 W	1,92	2,50	4,80
EV 14 N	2,7	2,50	6,75
EV 15 N	1,35	2,50	3,38
EV 16 N	2,025	2,50	5,06
EV 17 N	7,02	2,50	17,55
EV 18 N	16,74	2,50	41,85
EV 19 N	2,025	2,50	5,06
EV 20 N	1,35	2,50	3,38
EV 21 N	2,7	2,50	6,75
EV 22 E	2,7	2,50	6,75
EV 23 E	1,35	2,50	3,38
EV 24 E	6,48	2,50	16,20
EV 25 E	2,7	2,50	6,75
EV 26 E	1,35	2,50	3,38
EV 27 S	6,561	2,50	16,40
EV 28 S	16,713	2,50	41,78
EV 29 S	7,02	2,50	17,55
EV 30 S	6,561	2,50	16,40
EV 31 W	1,35	2,50	3,38
EV 32 W	2,7	2,50	6,75
EV 33 W	6,48	2,50	16,20
EV 34 W	1,35	2,50	3,38
EV 35 W	2,7	2,50	6,75
		TOTAL	385,31

*ITE 50, III.5

Nota. - O valor de U das coberturas a usar nesta ficha corresponde à situação de Verão

Folha de Cálculo FC V.2c

Ganhos solares pela envolvente opaca exterior

POR ORIENTAÇÃO E HORIZONTAL (inclui paredes e cobertura)

Orientação	N.	NE.	E.	SE.	S.	SW.	W.	NW.	Horiz.
Área, A (m ²)	21,365	11,07	37,1 4	0	21,87	2,448	25,03	18,27	225
U (W/m ² .°C)	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,54
Coefficiente de absorção, α (quadro V.5)	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0
α.U.A	=	=	=	=	=	=	=	=	=
	4,91	2,55	8,54	0,00	5,03	0,56	5,76	4,20	---
Int. de rad. solar na estação de arref. (kWh/m ²) (Quadro III.9)	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	200	320	450	470	420	470	450	320	790
	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
Ganhos Solares pela Envolvente Opaca Exterior	=	=	=	=	=	=	=	=	=
	39,30	32,58	153,70	0,00	84,48	10,58	103,59	53,77	0,00
Total									478,01

Folha de cálculo FC V.1e

Ganhos Internos

Ganhos internos médios	(Quadro IV.3)	4,00	(W/m ²)
		x	
Área útil de pavimento		401,90	(m ²)
		x	
		2,928	
		=	
Ganhos Internos Totais		4706,99	(kWh)

Folha de cálculo FC V.1f

Ganhos Totais na Estação de Arrefecimento (Verão)

Ganhos solares pelos venvidraçados exteriores	(FC V.1d)	8529,33	(kWh)
		+	
Ganhos solares pela envolvente opaca exterior	(FC V.1c)	478,01	(kWh)
		+	
Ganhos Internos	(FC V.1e)	4706,99	(kWh)
		=	
Ganhos Térmicos Totais		13714,33	(kWh)

Folha de cálculo FC V.1g

Valor das Necessidades Nominais de Arrefecimento (N_{vc})

Ganhos Térmicos Totais	(FC V.1f)	13714,33	(kWh)
		/	
Perdas Térmicas Totais	(FC V.1a)	10051,34	(kWh)
		=	
γ		1,3644	
Inércia do edifício		4,2	a = FALSO

		1	
		-	
Factor de utilização dos ganhos solares, η		0,667	
		=	
		0,333	
		x	
Ganhos Térmicos Totais (kWh)	(FC V.1f)	13714,33	
		=	
Necessidades brutas de arrefecimento (kWh/ano)		4571,46	
		+	
Consumo dos ventiladores (kWh)	(Ev=Pv.24.0,03.4)	0	
(se houver, exaustor da cozinha excluído)		=	
	TOTAL	4571,46	(KWh/ano)
		/	
Área útil de pavimento (m^2)		401,90	
		=	
Necessidades nominais de arrefecimento - N_{vc} (kWh/ m^2 .ano)		11,37	
		≤	
Necessidades nominais de arrefecimento máximas - N_v (kWh/ m^2 .ano)		32	

Cálculo das Necessidades de Águas Quentes Sanitárias (N_{ac} , N_a)

Limitação das necessidades nominais de energia útil para produção de ASQ (anexo VI) (artº7 do RCCTE):

$$N_{ac} = (Q_a / (\eta_a - E_{solar} - E_{ren})) / A_p$$

$$N_a = ((0,081 \cdot M_{AQS} \cdot n_d) / A_p)$$

$$Q_a = (M_{AQS} \cdot 4187 \cdot \Delta T \cdot n_d) / (3600000)$$

Ap =	401,90	(m ²)
Tipologia da Fracção:	T4	
nº de ocup. (Quadro VI.1):	5	
MAQS (ANEXOVI) =	200	(l)
ΔT (ANEXOVI) =	45	(°C)
nd (ANEXOVI) =	365	(dias)
Qa =	3820,64	(kWh/ano)
ηa =	0,934	
Esolar =	1772,0	(kWh/ano)
Eren =	0,0	(kWh/ano)

Necessidades de energia para preparação das AQS

$$N_{ac} = 5,77 \text{ (KWh/m}^2 \cdot \text{ano)}$$

≤

Necessidade máxima de energia para a preparação de AQS

$$N_a = 14,71 \text{ (KWh/m}^2 \cdot \text{ano)}$$

Cálculo das Necessidade de Energia Primária (N_{tc} , N_t)

Limitação das necessidades nominais globais de energia primária de um edifício (artº 8 do RCCTE):

$$N_{tc} = (0,1 \cdot (N_{ic}/\eta_i) \cdot F_{pui} + 0,1 \cdot (N_{vc}/\eta_v) \cdot F_{puv} + N_{ac} \cdot F_{pua})$$

$$N_t = (0,9 \cdot (0,01 \cdot N_i + 0,01 \cdot N_v + 0,15 \cdot N_a))$$

$N_{ic} =$	54,87	(kWh/m ² .ano)
$\eta_i =$	1	(artº 18)
$F_{pui} =$	0,29	(kgép/kWh) (artº 18)
$N_{vc} =$	19,50	(kWh/m ² .ano)
$\eta_v =$	3	(artº 18)
$F_{puv} =$	0,29	(artº 18)
$N_{ac} =$	5,60	(kWh/m ² .ano)
$F_{pua} =$	0,29	(artº 18)

$N_i =$	73,26	(kWh/m ² .ano)
$N_v =$	32,00	(kWh/m ² .ano)
$N_a =$	14,71	(kWh/m ² .ano)

Nec. globais anuais nominais específicas de energia primária

$N_{tc} =$	2,73	(kgép/m ² .ano)
------------	------	----------------------------

≤

Limite máximo admissível de energia primária

$N_t =$	2,93	(kgép/m ² .ano)
---------	------	----------------------------